



Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

Août 2000

Quel est le coût énergétique de notre alimentation ?

**Club Energie, Prospectives et Débats
Groupe 1**

Claire Monot – Cirad amis Ecopol

à la demande du CNRS ECODEV

Département amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique
Programme économie, politiques et marchés

n° 33 / 2000

QUEL EST LE COUT ENERGETIQUE DE NOTRE ALIMENTATION ?

**Club Energie, Prospectives et Débats
Groupe 1**

Claire Monot – CNRS ECODEV

Sommaire

CHAPITRE 1. LES PROSPECTIVES AGRICOLES ET ALIMENTAIRES MONDIALES..... 4

Le *World Food Model* (WFM) : les perspectives alimentaires de la FAO pour l'horizon 2010 4

Le modèle alimentaire et démographique de l'IFPRI (IMPACT) : des visions pour 2020..... 14

Les limites biophysiques à la production alimentaire mondiale en 2040 16

D'autres approches complémentaires et contradictoires 18

CHAPITRE 2. LES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES ET LEURS CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE 20

L'évolution et la différenciation des systèmes agroalimentaires..... 20

Les consommations d'énergie aux différentes étapes des systèmes agroalimentaires 24

LES MULTIPLES ENJEUX DU PROGRAMME DE RECHERCHE 44

Annexe 47

Liste des encadres, figures et tableaux : 50

Bibliographie 51

Dans les prochaines décennies, pourrons-nous produire l'alimentation nécessaire à une population mondiale extrêmement nombreuse ? Si les ressources de la planète semblent théoriquement suffisantes pour alimenter la population actuelle, la gestion de ces ressources ne permet pas aujourd'hui de satisfaire ces besoins partout dans le monde. Chacun reconnaît aujourd'hui que l'insécurité alimentaire tient davantage aux dysfonctionnements des systèmes de production et de répartition des produits alimentaires. Les inégalités et les inefficacités d'utilisation des facteurs de production sont le plus souvent la cause des pénuries alimentaires de certaines populations, mais aussi des risques d'épuisement et de dégradation des ressources. Si ces déséquilibres persistent sur une planète peuplée de 11 milliards d'habitants en 2100, ils entraîneront l'épuisement et la dégradation de certaines ressources locales, régionales ou globales. Il est donc indispensable d'identifier et de quantifier les consommations d'inputs et l'usage des ressources nécessaires actuellement à la production, à la distribution et à la consommation de nos alimentations. La connaissance du fonctionnement physique de nos systèmes alimentaires permettrait ensuite d'évaluer leurs conséquences et leurs risques pour notre environnement humain, économique et naturel. L'objectif final de telles recherches est de préconiser des solutions durables et efficaces pour satisfaire les besoins alimentaires.

Au Nord comme au Sud, certains systèmes de production agricole et alimentaire surexploitent et polluent les ressources en sol et en eau, et menacent dès maintenant leur propre pérennité. La production alimentaire représente aussi une part importante des activités humaines qui dégradent l'atmosphère et le climat en produisant des gaz à effet de serre (GES) . En premier lieu, l'agriculture produit des GES : CO₂ par respiration des sols et des plantes, méthane par l'élevage et les rizières, combustion d'énergies fossiles et de biomasse liée aux divers travaux agricoles. Mais l'agriculture peut contrebalancer ces émissions grâce à la fixation et au stockage plus ou moins long du carbone par les plantes et dans les sols. Mais ce sont surtout les activités en aval ou en amont de l'agriculture qui consomment des énergies fossiles ou issues de la biomasse. Ces consommations doivent être gérées rationnellement :

- d'une part pour assurer l'alimentation des populations locales et le développement harmonieux des systèmes agroalimentaires (SAA), qui entraîneront à leur tour un développement socio-économique équitable et à un équilibre entre villes et campagnes ;

– d'autre part pour participer à l'effort mondial de limitation des émissions de GES. Si l'on favorise des modes de production et de répartition des aliments qui soient moins intensives, plus efficaces, économiquement et socialement acceptables, alors les consommations d'énergie pourront augmenter raisonnablement dans les pays en développement (PED), voir même diminuer dans les pays développés (PD).

Avec le développement économique et social, la fonction d'alimentation est de plus en plus confiée à des acteurs économiques spécialisés chargés de produire, stocker, conserver, transformer, transporter et commercialiser les produits afin de fournir à la plus large population possible un aliment sain, de qualité, facile à consommer et à conserver, en quantité suffisante et de façon régulière. Les repas sont eux-mêmes de plus en plus préparés et servis hors du foyer, par les restaurateurs. Ainsi, l'alimentation des pays développés mobilise une part importante des moyens de production et des consommations d'énergie : en France, les consommations directes et indirectes d'énergie liées à l'alimentation représenteraient 23 % de la consommation totale [CNRS, 1998]. Mais beaucoup d'énergie est gaspillée du fait d'inefficacités, de surabondance ou de sophistication excessive.

Dans les pays en développement, de nombreuses tâches de la production alimentaire sont encore accomplies par une main d'œuvre abondante, palliant la rareté relative des énergies modernes. Certaines de ces régions bénéficient aujourd'hui d'un développement alimentaire rapide associé à une augmentation considérable des consommations d'énergie. Mais des pénuries alimentaires persistent, de façon chronique ou conjoncturelle, notamment liées à la cherté de l'énergie, qui limitent les rendements, les transports, la conservation ou la préparation des aliments. Le modèle alimentaire « occidental » actuel n'étant pas durable ni généralisable sur le plan énergétique, les futurs SAA devront répartir plus efficacement et équitablement les ressources alimentaires et énergétiques mondiales. Tout ceci implique une réflexion globale, une mobilisation et un développement cohérent des acteurs et des opérations des systèmes alimentaires.

Il est donc nécessaire de quantifier le coût énergétique de l'alimentation puis de construire des modèles prospectifs, pour évaluer les risques globaux, valider les analyses et élaborer des solutions techniques et politiques, cohérentes et équitables.

Les questions que nous nous posons sont les suivantes :

- Comment évaluer la demande énergétique que représentent aujourd'hui les besoins alimentaires dans les grandes régions du monde ?
- Comment les SAA du monde feront-ils évoluer quantitativement et structurellement cette consommation d'énergie à moyen et long terme ?

C'est au sein du Club « Energie, prospective et débats », au Commissariat Général au Plan, que nous tenterons de définir un programme de recherche pour répondre à ces questions. Cette étude préliminaire devra constituer une base de références concernant les perspectives alimentaires et énergétiques mondiales et définir un cadre méthodologique pour l'analyse de la demande énergétique

liée à la satisfaction des besoins alimentaires et de son évolution à travers le monde. Ce sera l'occasion de rassembler des chercheurs de l'INRA, du CIRAD, du CNRS et du CIRED pour débattre des champs disciplinaires, des termes d'analyse et de la méthodologie, mais aussi d'évaluer l'effort de recherche à mobiliser.

Notre étude présentera d'abord quelques modèles prévisionnels et prospectifs de la demande alimentaire mondiale, qui est un des déterminants de la demande énergétique du SAA. Nous distinguerons les futurs enjeux de l'alimentation, les spécificités régionales, les méthodologies de ces travaux, et les améliorations souhaitables. Ce bilan devra orienter les futurs choix méthodologiques et les objectifs d'un futur modèle d'analyse et de prospective de la demande énergétique pour l'alimentation. Pour relier structurellement cette demande alimentaire à une consommation énergétique, il sera nécessaire d'établir une typologie énergétique des systèmes de production, de transformation, de consommation en fonction des produits, des régions et des groupes sociaux. Pour penser cette méthodologie, nous présenterons les concepts généraux de l'économie agroalimentaire et les cas spécifiques de certaines régions ou groupes sociaux, afin de retracer les continuités, les différenciations et les transformations des SAA en fonction des facteurs socio-économiques. Nous en envisagerons les répercussions énergétiques de ses facteurs d'évolution et tenterons de les évaluer en respectant, autant que possible, la cohérence entre les informations agrégées et désagrégées dont nous disposons.

CHAPITRE 1.

LES PROSPECTIVES AGRICOLES ET ALIMENTAIRES MONDIALES

Nous présenterons les approches et les résultats de quelques modèles prospectifs et / ou prévisionnels concernant l'agriculture et l'alimentation mondiales. Les modèles prévisionnels de moyen terme nous renseignent sur les tendances les plus probables de l'alimentation mondiale et sur les facteurs socio-économiques et environnementaux qui accélèrent ou restreignent le développement des SAA régionaux. Nous retiendrons ces résultats dans la mesure où ils influencent directement ou indirectement les consommations d'énergie. Quant aux modèles de long terme, ils nous apportent des scénarios futurs à partir d'hypothèses sur certains grands facteurs : l'accroissement démographique ; le développement économique ; l'état des ressources naturelles et le rythme de leur exploitation ; la vitesse et les impacts de l'effet de serre ; le progrès technique). Ils envisagent également les conséquences à long terme d'orientations politiques spécifiques, prises à l'échelle régionale ou globale (politiques d'indépendance et de sécurité alimentaire et énergétique, accords internationaux sur les normes environnementales et sur la libéralisation du commerce). A partir de ces modèles, nous discuterons des approches les plus adaptées aux besoins de notre étude. Nos choix méthodologiques porteront notamment sur l'horizon de prospective, le découpage régional, le niveau de désagrégation des produits agricoles, la représentation des filières alimentaires, les variables endogènes et exogènes d'évolution.

Pour cette revue des modèles agricoles, nous utiliserons notamment le dossier « Prospective agricole et alimentaire mondiale » [CIRAD, 1997], qui synthétise et compare les méthodes, les résultats et les problématiques des principaux modèles existants.

Le *World Food Model* (WFM) : les perspectives alimentaires de la FAO pour l'horizon 2010

En prolongeant et perfectionnant le WFM-Horizon 2000, cette étude tente d'abord de décrire l'évolution probable de l'agriculture, de l'élevage, de la sylviculture, de la pêche pour aboutir à envisager la situation alimentaire des populations des grandes régions du monde [FAO, 1995]. C'est aussi l'évaluation la plus complète et la plus fiable des ressources en sols arables dans les PED. Le problème de l'énergie lié à l'agriculture y est signalé dans cette étude de la FAO, mais il n'a pu faire l'objet d'une analyse spécifique.

➤ Les questions posées

Encadré 1 : Le modèle de l'alimentation mondiale de la FAO (WFM)

Les pays pris en compte :

La plupart des pays soit 137 représentés en 10 agrégats

Les produits modélisés :

40 produits et groupes de produits

L'horizon de prévision :

20 ans, soit la période de 1980 / 1990 à 2010

La structure de modélisation :

- Equilibre partiel
- Récursif
- Non spatial
- Pas d'éléments stochastiques
- Base économétrique solide
- Introduit des avis d'experts, notamment pour les rendements
- Pas de liens intersectoriels sauf la relation entre revenu national et la demande
- Equation de transmission de prix classiques
- Equilibre par clearing

Les variables endogènes :

- Offre, demande, prix domestiques
- Rendements, complétés par des avis d'experts
- Production définie par des modèles techniques représentant les délais et les cycles de production

Les variables exogènes :

- Revenu (BIRD)
- Populations (NU), scénarios moyen et bas
- Equivalents subventions (OCDE)
- Base statistique AGROSTAT (FAO)

Source : CIRAD, 1997.

Les enjeux traités par ce modèle sont ceux de la sécurité alimentaire mondiale, la disponibilité des ressources naturelles pour répondre aux besoins alimentaires et la durabilité des modes de production et d'exploitation de ces ressources. Afin de prévoir la situation mondiale face à ces trois enjeux, l'étude évalue les variables de disponibilités alimentaires par habitant, la nutrition, l'évolution des excédents ou des déficits alimentaires dans les différentes régions et les moyens de les compenser, les progrès futurs des rendements agricoles, le taux d'exploitation des ressources naturelles par l'agriculture, etc. Ces projections des variables ne sont pas des extrapolations, c'est-à-dire qu'elles ne font pas que reproduire les tendances du passé. D'autre part, les auteurs adoptent une attitude positiviste, c'est-à-dire qu'ils essaient de prévoir l'évolution probable des variables ci-dessus et non pas de déterminer les valeurs pour lesquelles ces variables assureraient la disparition des pénuries alimentaires en 2010. Ces projections font donc appel à des expertises à partir d'informations locales et globales. Il s'agit d'évaluer l'ampleur probable des déséquilibres alimentaires en 2010 afin d'engager les actions politiques appropriées. **L'Erreur! Source du renvoi introuvable.** donne quelques détails techniques de la construction du modèle.

Avant de présenter les principaux résultats de WFM, nous rappellerons certains commentaires et précautions des auteurs concernant la portée et les limites des analyses et des choix méthodologiques. Notre étude projet sera confrontée à des contraintes et des alternatives semblables.

➤ Les contraintes et les choix

Un modèle mondial

Construire un modèle mondial représente une tâche énorme et offre une multitude de champs possibles d'analyse. Le choix des thèmes abordés est donc notamment déterminé par des contraintes matérielles : l'existence de données complètes et comparables au niveau mondial ; les capacités de recherches mobilisables ; les délais relativement courts vu l'urgence des enjeux.

Les implications du choix de l'échelle mondiale :

- Les problèmes abordés sont ceux qui revêtent une ampleur mondiale, à savoir la persistance de la sous-alimentation et de l'insécurité alimentaire, et la pénurie et la dégradation croissantes des ressources naturelles, et les relations entre cette pénurie et les besoins (aliments et revenus) d'une population croissante. Dans le WFM, le cas des PED a été plus précisément abordé que celui des PD, pour lesquels les évolutions attendues seront certainement très lentes et où le problème de l'épuisement des ressources n'aura pas la même acuité.
- L'étude étant focalisée sur le secteur agricole, les auteurs n'ont pas construit leurs propres hypothèses sur le développement économique des différents pays mais ils ont utilisé les scénarios issus d'autres travaux.
- Il faut éviter toute généralisation concernant les questions posées et les éléments de réponse. La diversité des conditions écologiques et socio-économiques dans le monde aboutit à des problématiques très variables et spécifiques à chaque région.

Une prospective sur 20 ans

Le choix d'un horizon de 20 ans et ceux des thèmes abordés sont interdépendants. Mais cet horizon pose des problèmes quant aux variables exogènes, dont l'évolution est difficile à estimer à si long terme. C'est le cas de l'endettement des pays, des effets des politiques de réforme ou du développement économique des pays. Par contre, l'étude des problèmes environnementaux nécessiterait une période plus longue, étant donné l'inertie des phénomènes naturels en jeu et de l'existence d'une marge encore importante avant un éventuel épuisement des ressources. Enfin, cette période de 20 ans est plus adaptée à l'estimation de l'évolution des techniques agricoles (amélioration des espèces, aménagements, formation).

Ces remarques concernant les dimensions géographique et temporel du WFM s'appliquent à l'étude. Les consommations énergétiques pour l'alimentation participent aux risques environnementaux globaux (effet de serre et concurrence d'usage des sols entre alimentation et bioénergies) et ces consommations seront aussi largement déterminées par des évolutions globales (croissance économique et commerciale mondiale, comportement des marchés mondiaux, accords internationaux). Il nous paraît donc nécessaire de choisir l'échelle mondiale. Mais la spécificité locale des filières agroalimentaires nous amènera cependant à définir un découpage régional adapté. Quant à la

préférence pour l'analyse des PED, elle pourrait être moins marquée dans un modèle alimentation / énergie. D'un côté le manque d'information sur les dépenses énergétiques des PED doit être compensé par davantage de recherches, d'autant plus que ces régions constitueront un poids considérable par leur population et par l'industrialisation de leurs systèmes agroalimentaires. Mais de l'autre, les systèmes alimentaires des PD étant actuellement les plus coûteux en énergie, ils devront fournir un effort important de diminution et de rationalisation de leurs consommations, sachant aussi que les niveaux d'organisation, de réglementation et d'information des secteurs agroalimentaires des PD sont le plus aptes à mettre en place des politiques énergétiques spécifiques.

L'horizon de prospective choisi s'étendra vraisemblablement à 30 ou 50 ans, afin de mieux distinguer les effets durables de scénarios alternatifs concernant la production et la consommation alimentaires, la démographie, les politiques agricoles et alimentaires et afin d'évaluer les conséquences environnementales de ces scénarios.

Vu ces choix d'échelles et vu le manque d'information complète et fiable, notre analyse devra certainement construire et utiliser des estimations qualitatives, rechercher des ordres de grandeur cohérents de variables. Il s'agira de construire des scénarios prospectifs hypothétiques plutôt que de prétendre prévoir les évolutions probables.

➤ Les hypothèses de modélisation

L'encadré suivant (Encadré 2) donne les hypothèses les plus vraisemblables d'évolution, utilisées comme référence pour le modèle de la FAO, et de l'IFPRI.

Encadré 2 : Les hypothèses des modèles de la FAO (WFM) et de l'IFPRI (IMPACT)

Continuité des tendances concernant :	...mais des ruptures possibles dues à :
Les surfaces agricoles	La salinisation, l'érosion, l'urbanisation et l'industrie, les coûts de colonisation élevés
Les rendements agricoles	Les politiques défavorables, le manque de recherche, le désordre sociaux
La demande (diversification, élasticités, revenu)	La diversification plus rapide en raison de la vitesse de l'urbanisation
Les politiques agricoles de libéralisation	La course à la compétitivité des grands exportateurs, le retour à des politiques agricoles régionalisées
Les prix internationaux en baisse lente	Les stocks bas depuis longtemps, la production de plus en plus dépendante de l'intensification, la raréfaction des sols disponibles
La baisse tendancielle du nombre des pauvres et des mal-nourris	Les conflits d'après la guerre froide, les réfugiés, les désordres sociaux
La croissance longue des exportations	Les déficits des balances commerciales des pays importateurs
L'augmentation de l'aide alimentaire	Le coût budgétaire élevé, les stratégies contre l'aide alimentaire

Source : CIRAD, 1997.

➤ Les conséquences sur les consommations d'énergie pour l'alimentation

Les disponibilités alimentaires par groupe de produits et par région

Les figures suivantes résument les résultats quantitatifs du modèle WFM concernant l'évolution des disponibilités alimentaires pour huit groupes de produits (céréales, racines et

tubercules, légumes secs, sucre, huiles végétales, viande et lait) en prenant l'année 1970 comme base de référence (Figure 1, Figure 2 et Figure 3).

Figure 1 : Disponibilités alimentaires mondiales – Evolutions 1970/1990, prospectives 2010 - FAO

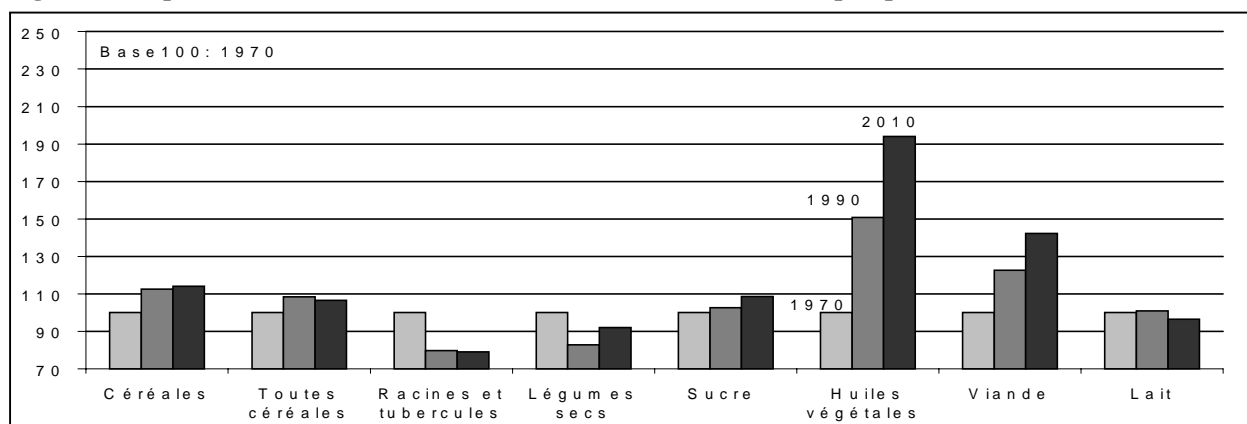


Figure 2 : Disponibilités alimentaires dans les PED – Evolutions 1970/1990, prospectives 2010 - FAO

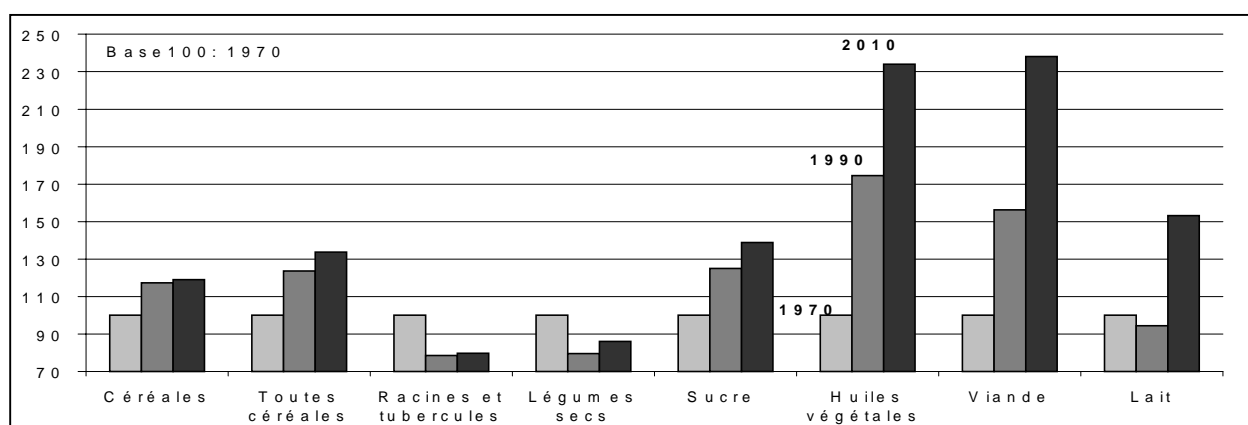
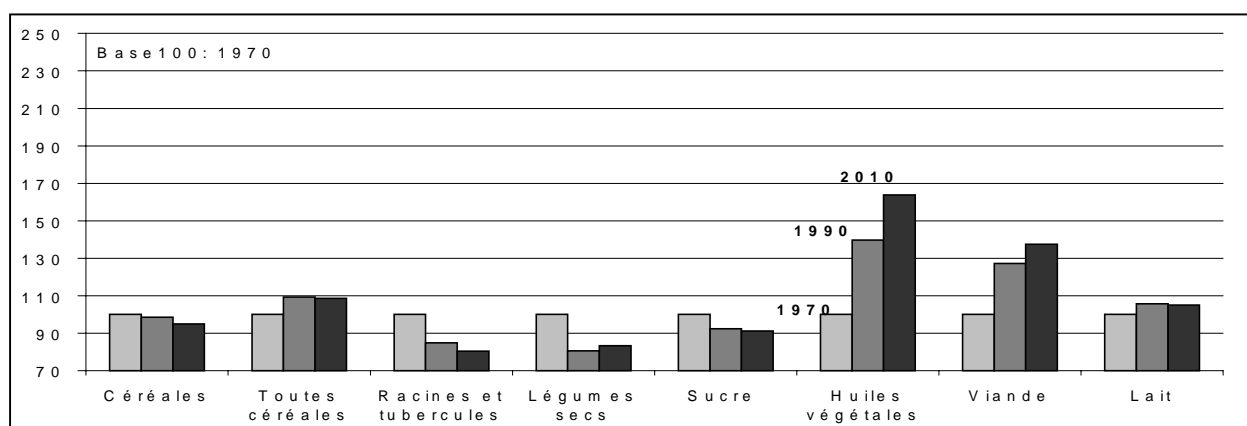


Figure 3: Disponibilités alimentaires dans les PD– Evolutions 1970/1990, prospectives 2010 - FAO

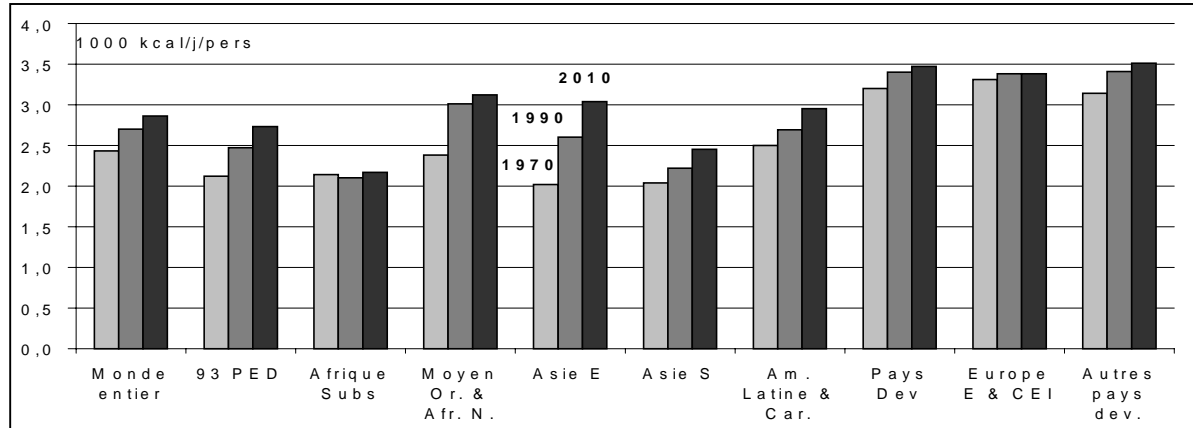


Les plus fortes croissances des disponibilités alimentaires concernent les produits animaux (viande et lait), les oléagineux et le sucre et se situent surtout dans PED. Cette situation se répercute sur les céréales destinées à l'alimentation animales (comprises dans « toutes céréales »). L'évolution des PD est beaucoup moins marquée.

La figure suivante représente l'évolution de la valeur énergétique totale de la ration alimentaire en kcal/pers/j (Figure 4). Les disponibilités alimentaires totales augmentent de

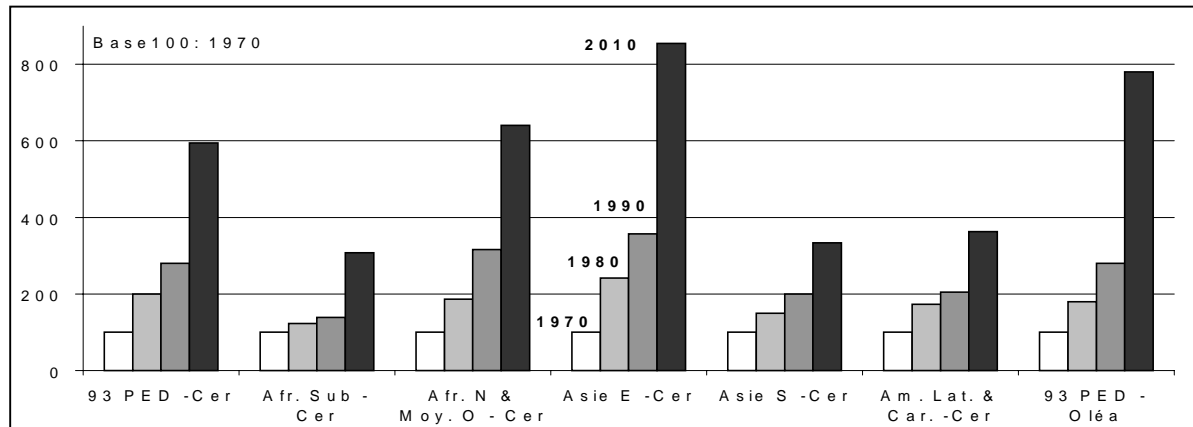
2 500 kcal / jour / personne en 1995 à 2 700 kcal / j / pers en 2010, avec des différences régionales : le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord, l'Asie de l'Est, l'Amérique Latine et les Caraïbes dépasseront les 3 000 kcal / j / pers tandis que l'Afrique Subsaharienne stagne et que l'Asie du Sud progresse.

Figure 4 : Valeur énergétique de la ration alimentaire – Evolutions 1970/1990, prospectives 2010 - FAO



L'évolution de l'utilisation de céréales et protéines oléagineuses pour l'alimentation animale est également estimée pour 2010 (Figure 5). Les implications de la consommation de produits de l'élevage devront être précisément analysés et modélisés, en raison du surcoût d'énergie dépensée pour l'alimentation des animaux.

Figure 5 : Utilisation des céréales et oléoprotéagineux pour l'alimentation animale dans les PED - FAO



L'ensemble de ces prospectives alimentaires est plus précisément commenté et argumenté dans les encadrés suivants (Encadré 3 et Encadré 4).

Encadré 3 : Evolutions régionales de la production, de la demande, et disponibilités alimentaires

Afrique Subsaharienne :

- La production par habitant décroîtrait mais moins que pendant la période 1980/90
- La croissance de la demande par habitant est presque nulle
- Les importations et l'aide alimentaire maintiendraient le niveau globale des disponibilités alimentaires, qui resterait faible
- Les disponibilités alimentaires par habitant se redresseraient pour les céréales, légèrement pour les légumes secs, les huiles, la viande et fléchiraient pour les racines et tubercules et le lait

Moyen-Orient et Afrique du Nord :

- La croissance de la production par habitant serait inchangée, inférieure à la croissance de la demande, mais dans de plus faibles proportions
- Les disponibilités alimentaires par habitant se stabiliseraient pour les céréales, augmenteraient pour les légumes secs (peu) et significativement pour le sucre, les huiles et fortement pour les viandes et le lait

Asie de l'Est :

- La croissance de la demande alimentaire en céréales et en viandes est très élevée, ce qui devrait se traduire par des importations et une forte réponse de l'offre locale
- Pour les autres produits, les croissances de la production et de la demande sont équivalentes
- Les disponibilités alimentaires se réduisent pour les racines et les tubercules, s'accroissent pour les céréales, les huiles et le sucre et augmentent fortement pour les viandes et le lait

Asie du Sud :

- La croissance de la production par habitant serait plus élevée mais insuffisante vu la croissance de la demande, ce qui accroîtrait les importations
- La croissance des disponibilités reste faible pour tous les produits

Amérique Latine et Caraïbes :

- L'alimentation en céréales et en protéagineux pour les animaux est équivalente à l'alimentation humaine
- L'accroissement de la production devrait suivre en partie celui de la demande et entraîner une hausse modérée des importations de céréales
- La croissance des disponibilités est moyenne

L'Ex-Europe de l'Est et l'Ex-URSS :

- La demande par habitant décroît plus vite que la production par habitant mais cette tendance n'est pas stable
- Les disponibilités alimentaires par habitant se stabiliseraient pour tous les produits
- On s'attend à une baisse des importations de céréales bien que la consommation de viande (volailles) puisse s'accroître

Les autres pays développés :

- La croissance de la production par habitant reste supérieure à la croissance de la demande
- Les disponibilités alimentaires continueraient à augmenter (le sucre, les huiles végétales et les viandes augmenteraient ; les céréales pour l'alimentation humaine et les racines et tubercules diminueraient)
- Ces pays pourront répondre à l'accroissement de la demande de céréales par un accroissement de la production. Seuls les pays de l'UE ne sont pas en mesure d'accroître significativement leurs exportations.

Encadré 4 : Evolutions par groupe de produitLes céréales :

- Dans les PVD, entre 1960 et 2010 la consommation a augmenté plus que la production, portant les importations de 4,5 % à 10 % de la consommation et diminuant l'autosuffisance (de 98 % à 90 %). Mais les situations des continents sont très contrastées.
- La demande en céréales augmente en raison des besoins pour l'alimentation animale, qui représenteraient 22 % de la consommation totale en 2010 (doublés en 20 ans) et entraîneraient une hausse des importations. Cette demande pour l'alimentation animale dynamise globalement la productivité du secteur mais peut provoquer des concurrences locales avec l'alimentation des populations pauvres.

L'élevage :

- Dans les PED, la croissance de la production et de la consommation de viande est moins élevée que par le passé. La croissance annuelle de la production augmente pour les bovins et ovins/caprins, tandis qu'elle diminue pour le porc et les volailles.
- Le ralentissement de la consommation de lait devrait être important dans toutes les régions : la baisse des subventions entraînerait une hausse des prix et une baisse des importations, tandis que l'Asie de l'Est, dont la demande à l'importation alimentaire s'accroît, consomme peu de lait.

Les céréales fourragères

- Leur utilisation a fortement augmenté dans les PED depuis 1970, et les PED à revenu moyen en sont durablement les plus gros importateurs.
- Les protéagineux, consommés par un petit nombre de PED, continueraient à croître plus rapidement que la production animale.

Les racines, tubercules, plantains

- Ces aliments sont surtout consommés dans les économies domestiques des pays de l'Afrique Subsaharienne, où ils sont peu transportés, et mal connus dans les statistiques. Leur part dans la ration diminue par rapport aux céréales
- Ces plantes servent aussi pour l'alimentation du bétail, en fonction du rapport de compétitivité avec les céréales sur le marché.

Les légumes secs

- En baisse depuis 1960, les PED consomment en moyenne 7,5 kg / an / personne aujourd'hui. Ces produits sont surtout consommés par les plus pauvres et devraient se stabiliser en 2010.

Les oléagineux

- Avec une croissance de la production de 4 % par an ces 20 dernières années, ils concernent une grandes variétés de plantes. Certains productions progressent et se substituent à d'autres, en régression.
- La progression de la consommation par tête en PED devrait ralentir. La production de soja devrait doubler de 1990 à 2010.

Le sucre

- Les PED en consomment globalement deux fois moins que les PD, exception faite de quelques PED fortement consommateurs. Le marché se situe entre les PED, les pays de l'OCDE étant protégés.
- La consommation des PED augmenterait de 1 kg pour les 10 ans, pour atteindre 20 kg / an / pers en 2010. La croissance de la production devrait fléchir (saturation de la demande des PD, fin du programme éthanol Brésilien).

Source : CIRAD, 1997.

Le commerce international

Parmi les prévisions du modèle WFM sur le commerce agricole international, nous pourrions retenir d'une part les variations des importations en volume mais aussi en proportion de la consommation alimentaire régionale. Ceci afin de distinguer les facteurs de changements structurels des disponibilités alimentaires (préférences des consommateurs pour les produits importés, aptitude de l'agriculture locale à répondre à l'évolution de la demande, subventions à l'exportation) et les facteurs démographiques. Cette information sur les échanges permettrait d'évaluer un indice de coût

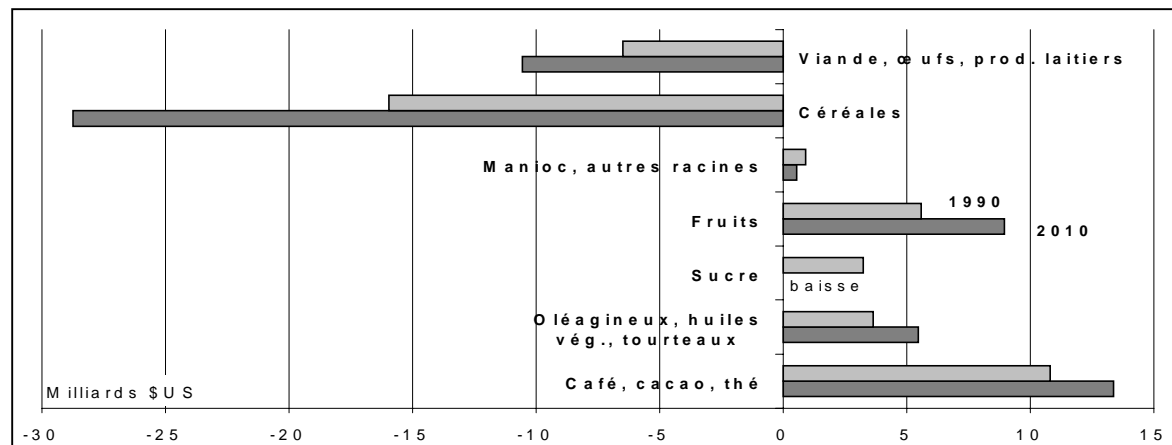
énergétique des transports internationaux, qui participe au coût énergétique de la calorie alimentaire servie.

La FAO porte les analyses suivantes sur les évolutions des échanges mondiaux :

- Les politiques nationales et internationales plus libérales augmenteront la variabilité des prix. Les prévisions des évolutions durables du commerce alimentaire seront d'autant plus incertaines ;
- Les PED continuent à importer des denrées alimentaires qui ont sur leur marché des élasticités revenu élevées et à exporter des produits agricoles, alimentaires ou non, vers des marchés saturés à faible élasticité revenu et prix ;
- On ne peut pas garantir que l'accroissement espéré des revenus, consécutif aux politiques de libéralisation, stimulera à son tour les marchés ;
- La réduction des subventions aux exportations des PD pourrait accroître les prix mondiaux et freiner les importations des PED ;
- Les PED pourraient se transformer prochainement d'exportateurs nets en importateurs nets de produits agricoles si la valeur des exportations et des importations de chaque produit évolue dans les mêmes proportions que les volumes prévus.

La figure suivante montre l'évolution du solde net des PED pour les produits les plus significatifs, entre 1990 et 2010 (Figure 6).

Figure 6 : Evolution probable du solde commercial net de quelques produits pour les PED - FAO



Un indice des coûts des transports devra bien sûr exclure les produits agricoles non strictement alimentaires, mais il devra inclure les échanges « intermédiaires » au court de la filière de transformation des produits agricoles bruts et de commercialisation au consommateur final. Ces transports concernent :

- les échanges entre les industries et / ou les artisanats agroalimentaires, quand les étapes de transformations des produits sont séparées géographiquement ;
- les transports des aliments finis le long du réseau de distribution, du lieu de fabrication à des lieux de stockages successifs et enfin de vente au détail.

L'évolution des techniques agricoles

Le progrès technique et l'intensification des cultures déterminent les consommations directes et indirectes d'énergie par le secteur agricole. Les consommations indirectes concernent l'énergie consommée en amont de l'agriculture pour la fabrication des machines agricoles, pour la construction des infrastructures et des aménagements agricoles, pour la production des intrants chimiques. Elles doivent aussi inclure l'énergie consommée pour l'entretien des infrastructures et le transport des matériels et intrants directs (fertilisants, produits phytosanitaires, semences). Les consommations directes découlent de la mécanisation des opérations culturales (labour, fertilisation, traitement, récolte) et de la modernisation des conditions de production (cultures sous serres, production animale hors-sol, conditionnement et stockage de la production et des intrants à la ferme).

Concernant la croissance agricole future (Encadré 5), les auteurs du modèle WFM analysent les évolutions passées des rendements, des surfaces récoltées et irriguées jusqu'en 1990 et émettent des avis pour 2010, en fonction du comportement probable des facteurs déterminants (développement rural, politique de recherche et de vulgarisation agronomique, financement de l'agriculture).

Encadré 5 : Evolution des sols et des techniques agricoles dans les PED selon la FAO

Les surfaces exploitées

- Il y a aujourd'hui 720 Mha réellement exploités dans les PED hors Chine, correspondant à une surface réellement cultivée et récoltée de 600 Mha.
- En 2010, la surface exploitée devrait atteindre 850 Mha (+ 90 Mha), pour une surface récoltée de 720 Mha (+ 120 Mha). Il y aura donc une intensification, très variable selon les régions.
- Les hectares supplémentaires seront prélevés sur la forêt. Le rythme de déboisement diminuerait cependant par rapport aux années 80 (- 0,25 % de surfaces boisées par an au lieu de - 0,8 %)

L'évolution de la qualité de sols

- Les surfaces irriguées s'étendent aujourd'hui sur 36 Mha, et s'accroîtront de 23 Mha en 2010, surtout localisés en Asie du Sud.
- Les 10 à 15 % des sols actuellement irrigués sont dégradés
- D'autres sols arables sont dégradés par épuisement des éléments nutritifs (Afrique) et par érosion, mais les effets sur la limitation de la production ne sont pas évalués de façon fiable.

Les engrais

- L'intensification par les engrais restera faible. La consommation de NPK dans les PED (hors Chine) a quadruplé entre 1975 et 1995 où elle atteint 37 Mt, soit 62 kg / ha de surface cultivée, avec de grandes variations par région.
- La consommation serait de 110 kg / ha en 2010.

Bilan

- L'essentiel des accroissements de rendement dépendra des possibilités d'irrigation, plus que de l'utilisation des engrais.
- A l'horizon 2010, les principales contraintes à l'accroissement de la production sont financières : coût des infrastructures de colonisation de terres et de constitution d'infrastructures d'irrigation.

Source : CIRAD, 1997.

Le modèle alimentaire et démographique de l'IFPRI (IMPACT) : des visions pour 2020

L'IFPRI constate que, dans les prochaines décennies, la situation agricole et alimentaire entrera dans une période de grandes incertitudes [PINSTRUP-ANDERSEN, 1997]. Cette évolution rendra les plus pauvres encore plus vulnérables à la faim. Plusieurs facteurs sont en cause : la diminution des stocks et de l'aide alimentaire liée à la libéralisation du marché, la dégradation et la raréfaction de ressources comme l'eau et les sols, et enfin les risques climatiques (El Niño, effet de serre). Devant cette imprévisibilité des risques, l'IFPRI a choisi d'explorer différents cas d'évolution globale et d'orientation des politiques. Leur modèle international IMPACT, d'analyse politique de la production et du commerce agricole choisit un horizon de 30 ans. Il ne s'agit donc pas de prévisions mais de prospectives, qui envisagent quatre scénarios probables à ce terme. Les conséquences de ces scénarios sont simulées pour les niveaux de l'offre, des prix, et la situation des populations à risque.

➤ Les choix méthodologiques

L'Encadré 6 décrit brièvement la structure et le fonctionnement du modèle IMPACT de l'IFPRI.

Encadré 6 : Fiche méthodologique du modèle IMPACT (IFPRI)

Les pays pris en compte :

35 régions ou pays définis sur la base d'un niveau de population significatif

Les produits modélisés :

17 produits et groupes de produits

L'horizon de prévision :

30 ans (de 1988/90 à 2020)

La structure de modélisation :

- Equilibre partiel
- Statique
- Non spatial
- Offre : le rendement est endogénéisé (fonction du prix input/output, et du progrès technique)
- Demande : analyse classique
- Clearing classique
- Liens entre la croissance agricole et non agricole par des multiplicateurs croisés
- Elasticités synthétiques (élevées dans les PVD à forte croissance pour les produits nouveaux)

Les variables endogènes :

- Offre, demande, prix domestiques
- Importations, exportations

Les variables exogènes :

- Revenu (BIRD)
- Populations (NU 1992, variante moyenne)
- Taux de change (FMI)
- Marges sur le commerce
- Equivalents subventions (OCDE)
- Changement technique dû à la recherche et aux investissements (OCDE, ADB, AGROSTAT/FAO)

➤ Quelques enjeux pour 2020

Le marché agricole mondial sera sensible à l'évolution de la Chine, vu son poids démographique (1/5^{ième} de la population mondiale), et son économie des plus dynamiques. Les politiques de production et de commerce agricoles de la Chine (politique d'investissements, d'autosuffisance, de gestion des ressources, d'amélioration de l'élevage) pourront influencer sensiblement les équilibres globaux.

La trajectoire de l'Inde pèsera aussi dans le bilan mondial. De la réussite de ses réformes économiques dépendent les futurs taux de croissance du PIB et des disponibilités alimentaires. L'incertitude règne encore sur les futures préférences alimentaires de ce pays, vers la persistance du régime végétarien ou une part accrue des produits animaux.

La mise en valeur du potentiel productif des pays de l'Europe de l'Est et des ex-pays de l'Union Soviétique dépendra de la réussite des réformes politiques de la transition. L'évolution relative des revenus et de la croissance agricole peuvent aboutir soit à une situation d'exportateur soit d'importateur sur le marché mondial.

Quant à l'Afrique subsaharienne, si des signes encourageants du côté de certains rendements et du PIB sont observés, ils restent fragiles et conjoncturels. La croissance ne pourra être soutenue que par la stabilisation politique et sociale, par l'investissement dans l'agriculture et l'adoption de techniques appropriées, afin de rattraper la démographie galopante.

Parallèlement à ces aspects régionaux, une autre évolution globale affecte profondément les caractéristiques de la demande alimentaire, il s'agit de l'urbanisation. La majeure partie de la hausse de la population dans les PED se situera dans les villes. Or la population des PED passerait elle-même de 79 % de la population globale en 1995 à 84 % en 2020. La population urbaine des PED devrait doubler dans le prochain quart de siècle, pour atteindre 3,6 milliards. Ce phénomène accélérera la diffusion de modes de vie et de régimes alimentaires urbains, caractérisés par un coût énergétique élevé (voir Chapitre 2).

➤ Quatre scénarios pour 2020

Pour répondre à ces incertitudes, le modèle IMPACT analyse la sensibilité de la situation alimentaire mondiale à trois facteurs à l'horizon 2020. Quatre principaux scénarios sont présentés en détail. Ils sont construits sur des hypothèses différentes de croissance économique et démographique et de progrès technique. IMPACT en déduit quatre situations alternatives probables, qui dévient sensiblement de la situation de référence « business as usual ». De tels scénarios pourraient être évalués dans leurs effets sur les consommations énergétiques.

Encadré 7 : Hypothèses et résultats des quatre scénarios de l'IFPRI pour 2020

Scénario 1 : + 20 % du taux de croissance démographique

- La demande croît
- Les prix augmentent et encourage l'offre
- Le revenu et la consommation par tête diminuent

Scénario 2 : + 15 % du taux de PIB par tête

- La demande de produits animaux augmente et accroît la demande d'importation
- Les prix augmentent
- La production domestique de grains est plus flexible
- Les consommations se reportent vers d'autres produits

Scénario 3 : - 25 % du taux de croissance des rendements

- Cas des pays où il est impossible d'étendre les surfaces cultivées et où l'amélioration des rendements serait freinée et ne parviendrait pas à suivre la demande
- Les prix augmentent et réduisent en retour la demande

Scénario 4 : Libéralisation du commerce

- Les prix diminuent lentement en générale (équivalent au scénario de base), d'où une demande
- Les prix de la viande augmentent car la production baisse et les importations du Japon et de la Corée du Sud persistent
- Les prix du porc dépendent de la situation chinoise
- Sans subventions, l'offre de céréales diminue et les prix augmentent
- La demande en céréales fourragères et maïs se contracte en fonction de la baisse de l'offre de viande
- Les effets sur la croissance en retour ne sont pas modélisés

Source : CIRAD, 1997.

Ce modèle, orienté vers l'évaluation offre, de la demande et des marchés agricoles peut nous être utile surtout :

- par ses hypothèses de scénarios, qui donnent un ordre de grandeur des incertitudes d'évolution des grandes variables globales à cet horizon ;
- par ses estimations de la sensibilité des variables endogènes.

Ces résultats pourraient être réintroduits comme variables exogènes d'un modèle prospectif alimentation / énergie.

Les limites biophysiques à la production alimentaire mondiale en 2040

➤ Objectifs

Le modèle de l'Université Agricole de Wageningen explore les capacités biophysiques des grandes régions mondiales à alimenter leurs populations en 2040 [PENNING DE VRIES, 1995]. Les auteurs cherchent à montrer qu'un tel objectif de satisfaction des besoins alimentaires est réalisable durablement compte tenu des ressources techniques et naturelles actuellement disponibles et connues. Les obstacles socio-économiques à la réalisation de ces performances techniques et les éventuels sauts technologiques ne sont pas pris en compte. Cette étude cherche donc à démentir l'idée que nous atteignons les limites de charge démographique mondiale.

➤ Méthodologie

A partir de la description biophysique de la planète divisée en 15 régions, le modèle calcule les potentialités de production agricole régionales. Les régions sont divisées en unités de territoires appartenant à des zones climatiques et des bassins versants. Leur modèle calcule les capacités de production agricole de ces unités en fonction de deux systèmes de culture : 1) un système « éco-technologiques » intensif en inputs par hectare ; 2) un système « orienté environnement » à faible densité d'input, plus durable mais plus exigeant en surfaces. Cette production agricole est représentée dans le modèle par trois produits : le blé (céréale tempérée) ; le riz (céréale tropicale) ; les pâturages. Ces trois produits étant définis par leur production biologique de base, un coefficient de récolte et de post-récolte ; leurs rendements sont simulés en tenant compte des caractéristiques biophysiques des unités géographiques. La demande alimentaire est calculée en fonction des scénarios de croissance démographique fournis par l'ONU et en posant trois régimes alimentaires alternatifs définis par leur niveau calorique et l'importance relative des protéines animales et végétales.


➤ Quelques résultats

Les trois régimes alimentaires alternatifs nous permettent d'évaluer le coût d'un supplément de calories animales, en terme de production agricole supplémentaire. Le modèle évalue aussi le coût en surface agricole supplémentaire, dans le cas d'un système « orienté environnement ».

Les résultats sont présentés sous forme de ratios entre le potentiel de l'offre et celui de la demande alimentaires régionales. Les régions peuvent être classées dans trois groupes : les zones à risque (ratio ≤ 2) ; les zones largement excédentaires (ratio > 10) et les zones intermédiaires. Le Tableau 1 résume ces résultats pour les scénarios régionaux les plus probables de régime alimentaire, de croissance démographique et de système de production agricole :

Tableau 1 : Potentiel alimentaire régional par rapport à la demande

Système agricole :	Intensif	Extensif
Régime alimentaire :	riche en CA	modéré
Population :	élevée	modérée
Amérique – Sud		
Amérique – Centre		
Amérique – Nord		
Afrique – Nord & ouest		
Afrique – Centre		
Afrique – Sud		
Océanie		
Asie – Sud-Est		
Asie – Sud & Est		
Asie – West		
Ex URSS & Europe		
Monde		



- Zone largement excédentaire
- Zone intermédiaire
- Zone à risque

Source : CIRAD, 1997.

➤ Les lacunes du modèle et les prolongements possibles

Les hypothèses faites concernant l'amélioration possible des rendements en céréales et tubercules, les résultats productifs des systèmes extensifs, les capacités productives des sols et l'étendue de l'irrigation sont plutôt optimistes. Elles supposent des efforts considérables dans le domaine de la recherche et de l'investissement agricoles.

De plus, les effets néfastes des systèmes ne sont pas évalués, comme la raréfaction des ressources en phosphates issus des gisements, dont l'exploitation est associée à des pollutions en CO₂, et les consommations énergétiques impliquées notamment par la fabrication d'engrais et leur transport. L'utilisation des ressources aquacoles n'est pas non plus abordée dans le modèle.

Malgré les insuffisances et les incertitudes de ce modèle, la méthodologie consistant à définir des régimes alimentaires alternatifs et des niveaux d'intensité culturale nous paraît exploitable pour l'élaboration de scénarios énergétiques. Dans une première étape, les systèmes agricoles et alimentaires devraient être mieux précisés, tandis qu'il reste à définir les systèmes de transformation et de distribution alimentaire selon les régions et les populations.

D'autres approches complémentaires et contradictoires

➤ L'alarmisme du Worldwatch Institute

En dépit de ce grand potentiel productif de la planète, les évolutions de la population mondiale et des performances agricoles futures semblent annoncer une aggravation de la situation alimentaire mondiale. C'est ce qu'indiquent les prévisions pour 2030 du Worldwatch Institute [BROWN, 1994], qui envisagent que les facteurs déterminant l'offre et la demande poursuivent leur évolution selon la tendance actuelle. Il s'agit donc du scénario du « laisser-faire » (*business as usual*), où aucune politique n'est mise en œuvre pour limiter la population, accroître les rendements ou protéger l'environnement dans un objectif de durabilité.

Cette étude dresse d'abord certains constats. D'une part, la réponse des rendements à l'augmentation des doses de fertilisants s'essouffle dans les principales régions céréalières et pour les variétés actuelles de blé, de riz ou de maïs ; les auteurs ne s'attendent pas à ce que les progrès des biotechnologies viennent rompre cette évolution. Selon les auteurs, la croissance mondiale du volume des productions céréalières continuerait de ralentir gravement, la période 1950 / 1984 enregistrant une hausse de + 30 Mt / an, celle de 1984 / 92 respectivement de + 12 Mt / an, les prévisions pour 1992 / 2030 seraient de + 9 Mt / an. Quant à la pêche, les capacités de production stagneraient depuis 1990 jusqu'à 2030, les spécialistes indiquant que les principales espèces marines sont déjà exploitées à leur maximum voir même au-delà. Après avoir passé en revue les principaux pays producteurs, l'étude aboutit à une situation de déficit mondial en céréales, réparti en trois tiers : l'ensemble des 4 premiers producteurs (USA, Chine, Inde, Ex-URSS) aurait un déficit de 140 Mt ; celui de 9 producteurs

mondiaux suivants (Pakistan, Egypte, Iran, Indonésie, Bangladesh, Ethiopie, Nigeria, Mexique, Brésil) respectivement de 106 Mt ; et le troisième tiers du déficit étant réparti dans le reste du monde.

➤ **Les alternatives de « Terres nourricières »**

MONNIER, dans une vision plus optimiste, calcule l'offre et la demande pour une planète peuplée de 10 milliards d'hommes en 2100, et envisage les moyens de réduire la pression sur les ressources [MONNIER, 1995]. L'auteur calcule la demande en supposant une amélioration de la ration de 9 % et en cumulant les économies réalisables dans les hypothèses suivantes :

- le régime végétalien concerne un quart de la population ;
- les pays industriels réduisent leur ration animale ;
- la population vieillissante consomme moins ;
- les pertes et gaspillages diminuent ;
- les rendements animaux s'améliorent.

Concernant l'offre, les hypothèses sont les suivantes : l'investissement d'irrigation est important ; l'accroissement des rendements se poursuit de façon différenciée selon la qualité des terres ; les pertes de sols par urbanisation ou dégradation et les nouvelles mises en cultures sont d'une ampleur raisonnable selon les estimations de l'auteur. Au total la comparaison de l'offre et de la demande aboutit à un déficit de 30 % par rapport à une alimentation satisfaisante, ce qui correspond à une amélioration de la situation actuelle (déficit de 40 %).

Cette approche, approximative et délibérément non catastrophiste, présente pour notre étude plusieurs intérêts, car elle estime les effets :

- d'une amélioration des rendements animaux ainsi que des pertes et gaspillage ;
- d'une évolution des rations alimentaires des pays industrialisés : diminution généralisée de la part des calories animales et diminution des rations pour les populations les plus âgées.

CHAPITRE 2.

LES SYSTEMES AGROALIMENTAIRES ET LEURS CONSOMMATIONS D'ENERGIE

La consommation d'énergie pour l'alimentation est déterminée par le niveau et la nature de la demande alimentaire et par le processus qui permet de satisfaire ce besoin. Dans le premier chapitre, nous avons abordé la question de la demande alimentaire future en présentant les grands modèles de prospective mondiale. Ici, nous analyserons les caractéristiques quantitatives et qualitatives de la demande et de l'offre alimentaire et les déterminants de leurs évolutions. Les systèmes de production, conservation, transformation, distribution et enfin de consommation des produits alimentaires seront décrits grâce aux concepts généraux de l'économie agroalimentaire et grâce à des études spécifiques de certaines régions et groupes sociaux. Cette caractérisation nous permettra de repérer les principaux postes de consommation d'énergie au cours de la chaîne alimentaire. Ces postes de consommation varient et évoluent en fonction des conditions biophysiques et socio-économiques de production et de consommation (structure et localisation des exploitations agricoles, développement industriel, importance des échanges commerciaux, part des populations urbaines et rurales). Dans l'objectif de construire un modèle prospectif mondial, il nous faudra analyser les postes de consommation qui seront déterminants dans le coût énergétique futur de l'alimentation pour l'ensemble des grandes régions du monde. A partir de la description des systèmes de production et de consommation alimentaire, ce chapitre tente donc de proposer un découpage régional et une méthode d'évaluation des principales consommations directes et indirectes d'énergie pour l'alimentation. Cela nécessitera notamment de faire l'inventaire des sources d'informations et des statistiques et de chercher les moyens de combler les lacunes de l'information.

L'évolution et la différenciation des systèmes agroalimentaires

➤ Caractérisation régionale des rations alimentaires

L'étude de la ration alimentaire, et de sa composition en calories animales et végétales utilise les bilans de disponibilité alimentaires par pays. La classification de ces bilans en fonction de la composition de leur ration alimentaire conduit à distinguer de grands ensembles régionaux [ALLAYA, 1996]. Rappelons que les bilans de disponibilité alimentaire par pays calculent la nourriture disponible par habitant, pour une année, en fonction de la production, du bilan des échanges (importations – exportations), des variations de stocks et des autres utilisations (hors alimentation humaine). Ce calcul n'aboutit qu'à un indicateur du niveau de satisfaction des besoins alimentaires, car il ne tient compte ni des disparités socioculturelles et géographiques à l'intérieur d'un pays, ni de la variabilité annuelle,

ni des pertes aux stades de transformation, de stockage et de transport des produits alimentaires. Cette composition de la ration alimentaire constitue un premier paramètre des niveaux de consommation d'énergie.

La différenciation des rations alimentaires conduit à définir quelques grands modèles agronutritionnels régionaux, décrits dans l'Encadré 8.

Encadré 8 : Les grands modèles agronutritionnels mondiaux

Les modèles occidentaux :

Il se caractérise par une forte proportion de produits animaux et une ration alimentaire élevée (3 000 à 3 800 kcal / pers / jour). Il se décompose en trois groupes :

- Le modèle méditerranéen, essentiellement végétariens, dominante céréales fruits et légumes, complétés par des légumineuses et du poisson, riche en huiles végétales ;
- Le modèle scandinave concerne l'Europe du Nord, consommateurs de poissons et produits laitiers ;
- Le modèle diversifié regroupe les pays anglo-saxons, ceux de l'Europe Occidentale et la plupart de l'Europe de l'Est. Seuls le poisson et les légumineuses ont une part variable.

Les modèles traditionnels agricoles :

Ils concernent la quasi totalité du Tiers Monde africain et asiatique. Les rations alimentaires à base végétales sont peu élevées (1 600 à 2 400 kcal / pers / jour). Il se compose de trois sous-groupes :

- Le modèle céréalier (Bangladesh), où les céréales dominantes sont parfois complétées par des légumineuses pour leurs protéines ;
- Le modèle racines et tubercules (Rwanda) complété par des protéines végétales ;
- Le modèle colombien de type céréalier combiné avec des légumineuses et du sucre.

Les modèles traditionnels mixtes :

Ils comportent de fortes disponibilités relatives en céréales ou/et racines et tubercules et en certains produits animaux. La ration alimentaire quotidienne est modérée : entre 2 400 et 3 000 kcal / pers / jour. On distingue trois groupes :

- Le modèle pastoral, avec une forte proportion de lait et produits laitiers (Somalie) ;
- Le modèle japonais, où le poisson accompagne les céréales comme en Asie du Sud Est (Japon) et dans certains pays d'Afrique équatoriale et tropicale ;
- Le modèle uruguayen est typique des grandes zones d'élevage extensif d'Amérique Latine (Argentine) ou d'Asie (Mongolie) où il y a abondance de viande et de céréales ;

Source : [ALLAYA, 1996]

La connaissance des systèmes de production agricole, de transformation agroalimentaire, de distribution et de mode de consommation viendront compléter ces informations sur les grands types de ration alimentaire existants.

➤ Le développement des modèles de consommation alimentaire

MALASSIS définit le modèle de consommation alimentaire (MCA) comme la façon dont les hommes s'organisent au sein de petits ensembles, appelés Unités Socio-Economiques de Consommation (USEC), pour consommer des biens alimentaires d'une certaine nature, en certaines quantités et selon certaines pratiques [MALASSIS, 1973, 1986]. La consommation alimentaire de l'USEC est déterminée par les conditions agroclimatiques liées à sa localisation, par les paramètres socio-économiques de son environnement plus ou moins proche et par ses caractéristiques sociales et économiques propres : le nombre d'hommes et de femmes, leurs classes d'âge, leurs liens familiaux,

leurs activités et leurs revenus, la stabilité de cette unité dans le temps et l'espace. On peut d'abord définir deux types de MCA à l'opposé l'un de l'autre :

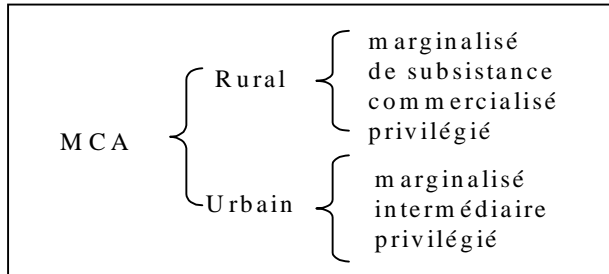
- Les sociétés domestiques à économie de subsistance : toutes les opérations de la chaîne agroalimentaire se font au sein même de l'unité de consommation, à savoir la production, la transformation, la conservation, et la préparation culinaire. Le pouvoir de consommer est ici directement lié à l'accès aux facteurs de production (terre, travail, capital). Il s'agit donc de sociétés rurales.
- Les sociétés industrielles à économie marchande : les activités domestiques sont le plus possible transférées aux agriculteurs, à l'industrie agroalimentaire, à la restauration. La quasi-totalité des biens transite par le marché. Le pouvoir de consommer dépend alors essentiellement du pouvoir d'achat. Cette société se caractérise aujourd'hui par l'urbanisation, la tertiarisation des activités, la réduction de la pénibilité du travail, l'activité des femmes, la généralisation de la journée continue.

L'évolution des pays en développement

Selon MALASSIS, il existe deux grands types de modèles agronutritionnels dans les PED : les modèles de type « traditionnels agricoles » à base de produits végétaux et ceux de type « traditionnels mixte » à base de produits animaux et végétaux, en fonction des caractéristiques agroécologiques locales. Chaque région combine différemment les facteurs socio-économiques, construisant ainsi des sous-modèles traditionnels diversifiés. Les réalités économiques et sociales sont hétérogènes à l'intérieur même de ces régions et varient en fonction des catégories de population et de leur localisation. Les PED sont en général caractérisés par une faible productivité de la terre et du travail, et par de grandes inégalités de distribution des disponibilités alimentaires. La situation alimentaire des PED évolue, sous l'effet de facteurs de croissance et de développement socio-économique, à des rythmes variés, et constitue des MCA « de transition ». Ces facteurs d'évolution sont l'augmentation plus ou moins équitable des revenus, l'urbanisation, l'accroissement des emplois dans les secteurs de l'industrie et des services. Ceci se traduit :

- par une croissance de la production agricole, plus ou moins apte à répondre à l'accroissement de la demande, et qui peut amplifier la dépendance par rapport aux importations ;
- par une situation alimentaire plus favorable des villes par rapport aux campagnes, notamment du fait des politiques alimentaires ;
- par une internationalisation des approvisionnements et des pratiques alimentaires surtout en milieu urbain, avec notamment la pénétration de produits alimentaires occidentaux industrialisés et bon marché ;
- par le développement de l'artisanat alimentaire.

On peut ainsi tenter de définir une typologie des MCA de transition dans les PED en fonction de la localisation (ville ou campagnes), du pouvoir d'achat (société commercialisée) ou du pouvoir de production agricole (pour l'autoconsommation) et de la persistance de liens (non commerciaux) entre urbains et ruraux [MALASSIS, 1986] :



Le modèle urbain privilégié ne se généralise pas dans les PED en raison de l'inégalité du développement économique et social, et de l'existence d'une domesticité abondante et bon marché qui fait perdurer les traditions alimentaires.

Le modèle agro-industriel

La société de consommation de masse est un modèle marchand qui caractérise le type de développement occidental. Elle peut aussi être qualifiée de modèle de consommation agro-industriel (MAI), car au fur et à mesure de ce développement, la masse alimentaire marchande bénéficie surtout à l'industrie et aux services incorporés dans les produits.

Le MAI est un modèle à haut profil énergétique en raison de la forte proportion de calories animales, de la sophistication des produits agro-industriels, des pertes et gaspillages sur la chaîne alimentaire et dans l'assiette du consommateur. La consommation finale apparente est de l'ordre de 3 500 kcal, dont 30 à 40 % de calories animales, soit l'équivalent d'environ 10 000 kcal végétales initiales. Si nous tenons compte de la sophistication, des gaspillages et des pertes, il faut 8 à 10 calories biologiques par calorie finale dans la bouche du consommateur. Le MAI est donc un gros consommateur de ressources biologiques. D'autre part, on observe une substitution de calories chères (viandes, fruits, légumes) aux calories bon marché (céréales, légumes sec, tubercules). L'ensemble de ces transformations est résumé par les « lois » statistiques internationales de la structure des disponibilités alimentaires de LACEPEDE et LENGELLE (1953) : « Lorsque le niveau énergétique de la ration s'élève, la quantité de calories apportées par les céréales, racines et tubercules croît, passe par un maximum aux environs de 2 500 kcal finales, puis diminue, l'apport des légumes secs décroît, celui de la viande, du lait et des corps gras augmente ».

Le MAI offre des « produits services » et des « produits servis », c'est-à-dire des denrées nutritionnelles intégrant des quantités croissantes d'activités secondaires et tertiaires, facilitant les opérations de la chaîne alimentaire qui subsistent encore dans les ménages (aliments services) ou se substituant totalement à elles (aliments servis). Le travail domestique impayé est transformé en coût

additionnel de l'aliment par une valeur ajoutée industrielle supplémentaire. La proportion d'aliments agro-industriels est croissante par rapport aux aliments agricoles : en France elle parvient à environ 80 %, elle est de 90 % aux Etats-Unis. Ces produits agro-industriels sont stabilisés, homogènes, emballés, différenciés, marqués, ils simplifient les tâches culinaires et rendent possibles les prises alimentaires individuelles. Ce modèle se caractérise par l'appel croissant à l'aliment servi, et donc au secteur de la restauration. Aujourd'hui, plus de 40 % des dépenses alimentaires du consommateur américain vont à la restauration, 1/3 pour le canadien. En Europe, la progression est plus lente, mais cette part atteint déjà 15 à 20 % de budget alimentation.

Le MAI s'internationalise par l'intégration et le transfert de produits et de recettes du monde entier. Cette internationalisation résulte de la croissance des échanges alimentaires, de la création de marchés régionaux (UE), du rôle croissant des transnationales agroalimentaires, de la mobilité des populations. Il résulte de toutes ces caractéristiques que le MAI a un coût social élevé (profil énergétique élevé, incorporation de services, substitution de travail payé au travail domestique).

Quant aux quantités d'aliments consommées dans les économies urbaines développées, elles croissent avec le revenu jusqu'à arriver à un niveau de saturation en terme de calories finales végétales et animales. Quand le revenu augmente, la dépense alimentaire augmente en valeur absolue mais diminue en valeur relative, jusqu'à atteindre une élasticité nulle.

Il en résulte que la fonction d'alimentation est pour toutes les sociétés, même industrialisées, une des activités qui consomment le plus d'énergie, d'avantage que les autres secteurs industriels. Si l'on prend en compte toutes les étapes de la production à la consommation de l'aliment, elles consommeraient selon les régions autour de 30 % de l'énergie fossile totale [HEILIG, 1993]. La plus grande partie de cette consommation (90 %) est d'ailleurs consacrée aux opérations qui succèdent à la production agricole. Les paragraphes suivants détailleront la structure des consommations d'énergie et leurs évolutions parallèlement à l'ensemble du modèle de consommation agroalimentaire.

Les consommations d'énergie aux différentes étapes des systèmes agroalimentaires

➤ L'agriculture et ses consommations d'énergie

Au cours du développement agricole, l'énergie fossile fut d'abord utilisée pour produire de l'énergie mécanique et se substituer à l'énergie humaine et animale dans les travaux d'exploitation et d'aménagement des terres. Cette évolution a permis d'augmenter considérablement la productivité par unité de travail humain et par unité de surface. Ainsi les surfaces consacrées à l'agriculture ont pu s'étendre alors que la population active agricole diminuait fortement au profit du développement industriel et de l'urbanisation. Une autre révolution essentielle de l'agriculture fut celle de la

fabrication de fertilisants chimiques permettant de régénérer la fertilité des sols et d'intensifier le rythme des cultures, d'où une explosion des niveaux de rendements.

Tableau 2 : Variation de certains inputs de la production agricole

		Pays développés		Pays en développement	
		1961 / 1963	1987 / 1989	1961 / 1963	1987 / 1989
Terres arables et cultures permanentes	Surface (1000 ha)	656	675	700	801
	Accroissement (1000 ha)	19 (3 %)		101 (14 %)	
Terres agricoles irriguées	Surface (1000 ha)	38	63	104	167
	Accroissement (1000 ha)	25 (65 %)		63 (60 %)	
Fertilisants azotés	Quantité (millions tonnes)	10 430	37 812	2 650	40 801
	Accroissement (millions tonnes)	27 382 (263 %)		38 151 (1440 %)	
Tracteurs agricoles	Nombre (milliers)	14 083	21 015	1 195	4 876
	Accroissement (milliers)	6 932 (49 %)		3 681 (308 %)	

Source : FAO, (1991), PC-AGROSTAT - Production and fertilizer yearbook.

Les statistiques (Tableau 2) montrent qu'en 1960 et 1990, alors qu'on observe une augmentation modeste des surfaces cultivées et irriguées à travers le monde, les consommations de fertilisants azotés sont multipliées par plus de 2 dans les pays en développés et par 14 dans les pays en développement. L'agrochimie a ainsi permis des gains considérables de productivité en affranchissant l'agriculture des contraintes naturelles de la qualité des sols ou des risques phytosanitaires. Elle est aussi devenue une des principales consommations d'énergie pour la production agricole, représentant entre 1/3 et 90 % de l'ensemble des consommations directes et indirectes d'énergies, quoique ces évaluations soient difficiles dans le secteur agricole [HEILIG, 1993]. Les estimations de l'énergie consommée pour les fertilisants sont variables en fonction de l'évolution des procédés industriels et des types de fertilisants. Certains ont estimé que la production d'une unité de fertilisant nécessite 12 600 kcal pour l'azote, entre 1 500 kcal pour les phosphates, et 1 665 kcal pour le potassium [cité par HEILIG, 1993]. Mais il ne faut pas exagérer l'importance de la consommation d'énergie pour la production des fertilisants. Les fertilisants azotés produits à partir de gaz naturel, qui représentent 70 % de la production mondiale de fertilisants azotés chimiques, ne participent que pour 1 % à la consommation d'énergie mondiale. Même dans les pays en développement, où l'agriculture tient une place prépondérante, la consommation d'énergie pour la production de fertilisants ne représente que 2,7 % des consommations totales. La totalité des consommations énergétiques pour l'agriculture ne représente que 4 % des consommations énergétiques globales, environ 1 % pour les fertilisants et 2 à 3 % pour la mécanisation, l'irrigation, les transports, etc. Notons que ces consommations modestes ont néanmoins permis d'énormes gains de productivité.

Comparaison de diverses études de cas

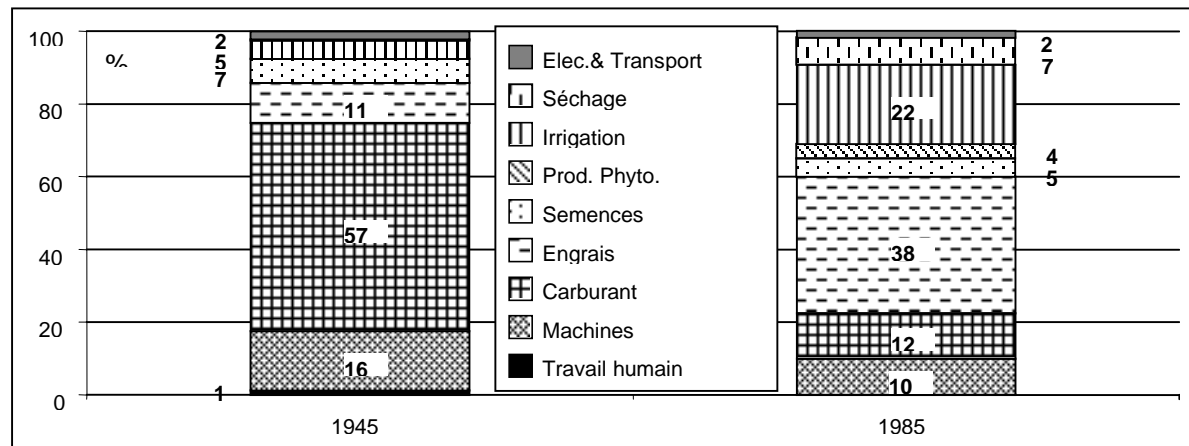
- *Etats-Unis :*

Aux Etats-Unis, une étude retrace l'évolution des quantités d'énergie consommées pour produire du maïs entre 1945 et 1985 [PIMENTEL, 1990]. Le tableau suivant (Tableau 3) évalue l'évolution de la valeur énergétique de l'input et de l'output. Puis on montre (Figure 7) la répartition des consommations d'énergie entre des coûts directs liés à certains travaux agricoles (irrigation, carburant, transport & électricité, séchage, travail humain) et indirects liés à la fabrication d'autres inputs nécessaire à la production (semences, engrais, produits phytosanitaires, machines). Globalement, entre 1945 et 1985, la consommation d'énergie est multipliée par 4 tandis que l'équivalent énergétique de la production de maïs est multiplié par 3, ce qui correspond à une diminution de l'efficacité énergétique, exprimée ici par le ratio énergétique output / input qui passe de 3,2 à 2,9. Dans le même temps, la structure de la consommation d'énergie est bouleversée, avec une baisse de la part du fuel et des machines, une forte hausse de la part des fertilisants, de l'irrigation, des produits phytosanitaires et du séchage. La part du travail humain, déjà faible en 1945 apparaît négligeable en 1985, quoique que l'estimation énergétique du travail humain soit très discutable.

Tableau 3 : Evolution de l'efficacité énergétique de la production de maïs aux Etats-Unis.

	1945	1985
Coût énergétique total (1000 kcal / ha)	2 492	10 309
Rendement maïs (1000 kcal / ha)	8 528	29 600
Ratio énergétique output / input	3,2	2,9

Figure 7 : Evolution des postes de consommations d'énergie pour la production de maïs aux Etats-Unis



Source : [PIMENTEL, 1990]

Ce ratio énergétique du maïs est néanmoins élevé en comparaison de produits faiblement caloriques, dont l'efficacité énergétique est calculée pour des systèmes de production représentatifs des Etats-Unis (Tableau 4).

Tableau 4 : Ratios énergétiques de certains systèmes de production aux Etats-Unis

Productions végétales et animales	Ratio énergétique output / input fossile	Travail humain (UTH)
Maïs (USA)	3,5	12
Blé (Dakota Nord)	2,7	6
Riz (Arkansas)	1,1	30
Pois secs (Michigan)	1,3	19
Pommes (Est)	0,9	176
Oranges (Floride)	1,7	210
Pommes de terre (New York)	1,4	35
Laitue (Californie)	0,2	171
Tomates (Californie)	0,6	165
Choux (New York)	0,8	289
Bœuf	0,04	2
Porc	0,02	11
Mouton (à l'herbe)	0,01	0,2
Œufs	0,06	19
Loup de mer	0,03	55

Source : [PIMENTEL, 1984]

Les principales céréales alimentaires humaines que sont le blé et le riz ont des ratios énergétiques faibles (respectivement 2,7 et 1,1), comparés à l'avoine, le soja et le maïs destinés à l'alimentation animale dont les ratios se situent entre 5,1 et 3,5. On peut donc supposer que la future hausse de la demande de riz en Asie exigera une modernisation de la production et une forte consommation énergétique, vu la faible efficacité énergétique de ces systèmes.

Enfin, les auteurs comparent les Etats-Unis avec d'autres systèmes de production agricole à travers le monde (Tableau 5). On voit que l'augmentation du rendement grâce à la mécanisation se fait souvent au détriment de l'efficacité énergétique.

Tableau 5 : Ratios énergétiques et rendements de quelques systèmes de production

Système de production	Ratio énergétique output / input	Rendement (kg / ha)
Maïs – Mexique – Energie humaine seule	10,75	1 944
Maïs – Mexique – Animaux de trait	4,34	941
Noix – Tribu Ikung – Botswana – Cueillette	3,90	1,75
Maïs – Etats Unis – Energie mécanique	3,40	7 000
Maïs – Province de Chine – 1980	3,13	5 014
Maïs – Province de Chine – 1953	2,44	2 700
Sorgho grain irrigué – Arkansas – Etats Unis – 1980	0,95	4 170
Sorgho grain – Nigeria – Animaux de trait	0,90	749
Bœuf – Etats Unis – Energie fossile seule – 1980	0,04	60
Loup de mer – Etats Unis – Energie fossile seule – 1980	0,03	2 783

Source : PIMENTEL *et al.*, 1984.

• France

En France, les évaluations énergétiques de l'agriculture portent un éclairage complémentaire sur l'évolution de l'intensité énergétique des agricultures modernes [BONNY, 1993]. Les résultats montrent que l'intensité énergétique (énergie requise pour produire une certaine quantité d'output) de l'ensemble de l'agriculture française augmente d'abord (de 1959 à 1977) puis diminue à partir de

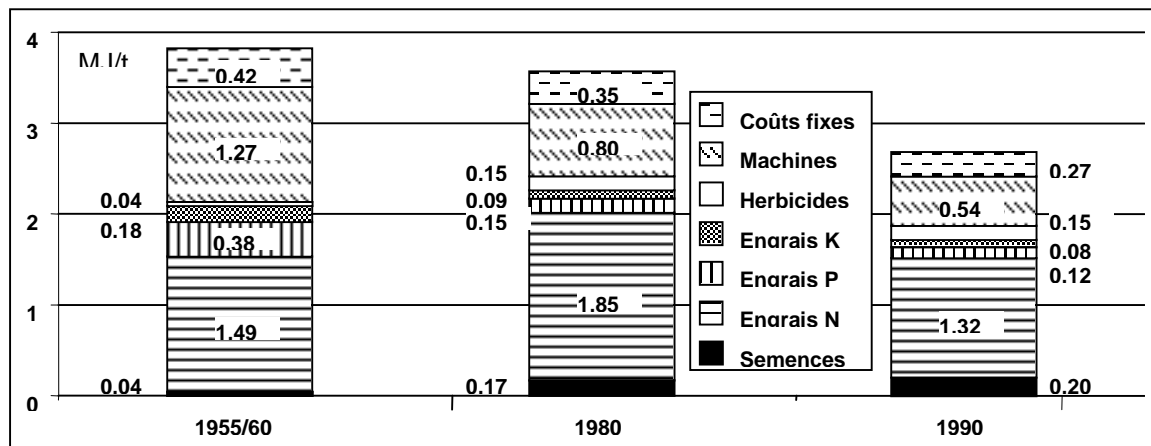
1977. Cette amélioration de l'intensité énergétique de l'agriculture française semble en partie expliquée par l'augmentation du prix de l'énergie suite aux deux chocs pétroliers de 1973 et 1981. Ces crises ont accéléré l'application de techniques agricoles plus économes en énergie et la mise au point de machines agricoles à la fois plus efficaces et moins consommatrices de fuel.

Pour préciser cette évolution sectorielle, l'auteur retrace l'évolution des quantités d'énergies directes et indirectes nécessaires à la production de blé entre 1958 et 1990 (Tableau 6).

Tableau 6 : Evolution des coûts énergétiques de la production intensive de blé (en %) – Bassin Parisien

Inputs	1955/60	1980	1990
Semences	1	5	7
Fertilisant N	39	52	49
Fertilisant P	10	4	4
Fertilisant K	5	3	3
Phytosanitaires	1	4	6
Tracteur et moissonneuse	33	22	20
Inputs fixes (machines & bâtiments)	11	10	10
Coût énergétique total (MJ / ha)	17,2	23,2	22,8
Rendement (t / ha)	4,5	6,5	8,5
Intensité globale (MJ / t)	3,82	3,57	2,68

Figure 8 : Evolution des postes de consommation d'énergie du blé intensif en Bassin Parisien (MJ / ha)



Source : BONNY, 1993.

On remarque encore qu'une économie d'énergie substantielle est réalisée sur le poste des fertilisants azotés, ceci principalement grâce à la baisse d'intensité énergétique des industries d'engrais permise par l'évolution des procédés de fabrication. Les autres facteurs de baisse de l'intensité énergétique sont notamment l'amélioration des rendements par sélection variétale et les pratiques de l'agriculteur visant à ajuster les apports d'inputs aux besoins des cultures. Ces résultats sont contradictoires avec ceux de PIMENTEL sur le maïs, du fait que ce dernier ne prend pas en compte l'évolution des consommations d'énergie indirectes pour la production industrielle de fertilisants azotés. Quant aux différences entre l'évolution des cultures de blé et celle de l'intensité énergétique globale de l'agriculture française, elles s'expliquent par le fait que la culture de blé en Bassin Parisien correspond à un système dont la modernisation est plus avancée. Les résultats montrent que

l'évolution de ce système précède celle de l'ensemble de l'agriculture française et qu'on peut encore anticiper une amélioration de l'intensité énergétique de cette dernière.

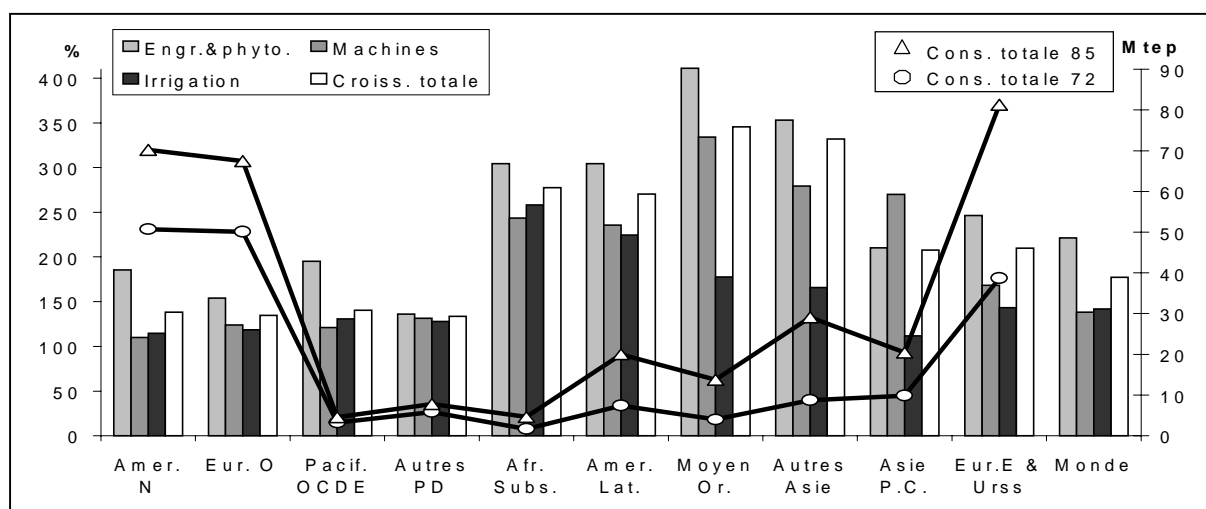
- *Suisse*

En utilisant une méthodologie similaire de comptabilisation des consommations d'énergie directes et indirectes, un modèle prospectif de l'agriculture suisse [FISHER, 1999] prévoit d'ailleurs une réduction significative des consommations énergétiques globales du secteur agricole, consécutive à la mise en place d'une politique d'extensification, au progrès technique et au développement de l'agriculture biologique. Ces facteurs de diminution de l'intensité énergétique contrebalancent certains facteurs d'accroissement : le plus grand recours à l'importation d'aliments concentrés pour animaux (lié à l'extensification suisse qui limite la production de céréales fourragères), le développement des productions de volailles et de cultures sous serres (fortes consommatrices d'énergie). Les consommations diminueraient de 6,5% entre 1998 et 2003, et rejoindraient ainsi les objectifs des accords de Kyoto en permettant une diminution d'environ 8% des émissions de CO₂ dans l'atmosphère.

- *Des comparaisons régionales*

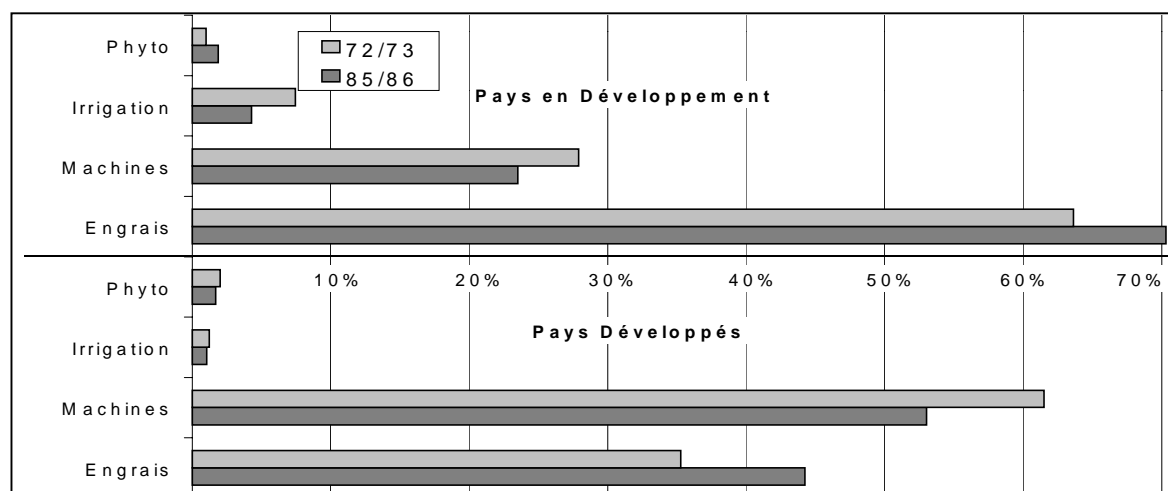
Dans les années 70, des études américaines ont également tenté d'évaluer les consommations d'énergie directe et indirecte par l'agriculture dans les grandes régions du monde en 1972 / 73 et de faire des projections pour 1985 / 86 [STOUT, 1980]. Sur la figure suivante, les histogrammes représentent la croissance (en %) des consommations d'énergie de chaque poste et les courbes représentent les consommations totales d'énergie (en millions de tep) en 1972/73 et 1985/86 pour l'agriculture de ces régions.

Figure 9 : Evolution des consommations énergétiques agricoles par région du monde



L'évolution de la structure des coûts énergétiques des PD et des PED est comparée dans le graphique suivant (Figure 10, voir aussi Tableau 14 et Tableau 15 en annexe).

Figure 10 : Evolution de la structure des coûts énergétiques en PD et PED



On observe que, dans les PED, la part des consommations liées aux engrais est plus importante que celles liées aux machines ; c'est l'inverse dans les PD. L'intensification de l'agriculture des PED est donc liée à l'utilisation d'engrais plutôt qu'à la mécanisation, vu la main d'œuvre agricole abondante. Dans les deux cas, la part du poste « machines » diminue et celle du poste « engrais » augmente entre 72/73 et 85/86. Dans cette prospective, les auteurs considèrent que la répartition entre les coûts directs (de fonctionnement) et les coûts indirects (de fabrication), pour les postes « machines » et « irrigation » restent stables entre 1972/73 et 1985/86 et qu'elle diffère peu entre les différentes régions du monde (voir Tableau 16, en annexe).

Les méthodologies d'évaluation des consommations pour la production agricole

• *Le choix d'un indicateur de la consommation d'énergie :*

Pour l'évaluation des consommations agricoles d'énergie, l'intensité énergétique (énergie consommée par tonne d'output agricole) est un indicateur plus adapté que l'efficacité énergétique (consommation d'énergie par calorie d'output), pour plusieurs raisons :

- l'intensité énergétique est le paramètre utilisé dans les autres secteurs de production, ce qui permet des comparaisons ;
- l'efficacité énergétique permet de comparer des produits agricoles bruts ou transformés, tandis que notre étude cherche à évaluer l'énergie consommée globalement pour alimenter la population d'une région ;
- la valeur énergétique des aliments ne doit pas occulter d'autres critères de valeur nutritionnelle.

Notons que pour établir un bilan environnemental complet de la chaîne alimentaire, il faudrait prendre en compte de nombreux autres indicateurs d'utilisation et de gestion des ressources : la conservation et l'occupation des sols, le stockage de carbone, la consommation d'eau, la pollution par les autres intrants, la biodiversité, l'emploi rural.

- *La méthode « bottom-up » :*

Certaines des études précédentes choisissent d'évaluer l'énergie consommée pour produire une culture donnée dans une région donnée, en affectant des coûts énergétiques fixes et variables à cette activité. Une des difficultés de cette méthode de définir l'itinéraire moyen pratiqué par les agriculteurs de la région, c'est-à-dire d'évaluer l'utilisation moyenne de l'appareil de production et les quantités moyennes d'inputs consommés pour cette activité. La diversité des exploitations, l'interdépendance des activités au sein de chaque exploitation et l'interdépendance des exploitations entre elles rendent difficile la reconstitution d'un itinéraire moyen pour un produit. Si cette méthode « bottom-up » est envisageable pour des études de produits et de systèmes de production particuliers, elle ne nous paraît pas réaliste pour une évaluation globale de l'agriculture, pour de grandes régions, ni à l'intégration du reste de la filière alimentaire. Par conséquent, il sera difficile de prévoir l'évolution de la consommation énergétique de l'agriculture en fonction de l'évolution de la nature des productions et des hypothèses plus globales sur le développement agricole sont nécessaires. Il serait cependant envisageable de distinguer les productions animales, dont on connaît globalement l'effet sur l'accroissement de la production végétale initiale (Tableau 7) :

Tableau 7 : Efficacité de conversion de l'alimentation animale

Produit animal	Calories végétales nécessaires
Lait	4,5
Bœuf et mouton	9,0
Porc	5,0
Oufs	4,5
Volailles	5,6

Source : [STOUT, 1980]

- *Les consommations indirectes d'énergie :*

Les consommations indirectes d'énergie pour l'agriculture sont les consommations d'énergie pour produire les inputs non énergétiques (engrais et produits phytosanitaires, semences) et les facteurs de production agricole (machines, matériels et équipements agricoles tels que l'irrigation). Ces consommations peuvent varier brutalement à certaines phases du développement puis se stabiliser voir diminuer en intensité grâce aux progrès d'efficacité et de procédés de fabrication. Certaines de ces consommations sont difficiles à évaluer directement, vu le manque d'information sur le mode de production des inputs et les difficultés d'affecter des coûts énergétiques à tel ou tel produit de l'industrie. Les consommations d'énergie indirectes liées aux machines et équipements agricoles peuvent être prises en compte à travers les constructions et achats de l'année en cours. A défaut d'information précise sur le coût énergétique de fabrication des machines, matériels et des constructions (bâtiments, infrastructure), on peut appliquer l'intensité énergétique de la valeur ajoutée du secteur de production concerné (construction, chimie et pétrochimie, machines...).

- *Les échanges de produits agricoles bruts*

Les mouvements d'importation et d'exportation des produits agricoles peuvent changer sensiblement le calcul du bilan énergétique de l'agriculture. Les coûts énergétiques de la production et du transport d'une denrée importée s'ajoutent au coût global de l'alimentation de la région importatrice et se retranchent du bilan énergétique de la région exportatrice. Il en est de même pour le coût des premières transformations des produits agricoles dans leur pays d'origine, avant l'exportation.

- *Les produits non alimentaires*

Les consommations d'énergies pour la production de cultures non alimentaires (textiles, tabac, caoutchouc...) peuvent être importantes pour certaines régions, et doivent être retranchées du bilan des consommations pour la production alimentaire. Il est préférable de déterminer les consommations spécifiques de ces cultures. A défaut, on peut utiliser l'intensité énergétique globale de la production agricole (énergie consommée par tonnage de production).

➤ **Les consommations d'énergie en aval de la production agricole**

Avec les crises pétrolières des années 70 et 80, l'aspect énergétique de l'agriculture a été souvent étudié aux Etats-Unis et en Europe. Ces analyses nécessitent aujourd'hui une réactualisation. Quant à la consommation d'énergie dans le reste de la filière alimentaire, elle a été plus rarement analysée, bien qu'elle représente une part croissante dans la demande énergétique liée à l'alimentation, au fur et à mesure du développement socio-économique. Cet aspect énergétique réapparaît aujourd'hui dans des analyses environnementales plus globales, appliquant notamment la méthode des « cycles de vie » ou « écobilans ». Cette méthode consiste à évaluer l'ensemble des transformations, des consommations intermédiaires, des utilisations de ressources et des externalités occasionnées à chaque étape du cycle de vie d'un produit, de sa production à sa consommation.

Dans les sociétés agricoles en développement, la chaîne des opérations alimentaires est d'avantage intégrée au sein de l'unité de consommation, ce qui la rend économe en énergie (non humaine). En milieu rural, les opérations de transformation des aliments incorporent davantage de travail domestique et nécessitent peu d'énergie pour le transport, le conditionnement, le stockage des aliments. En aval de la production agricole, la majeure partie de l'énergie est donc consommée au sein du ménage et concerne des sources d'énergies non commerciales, ce qui la rend difficile à évaluer.

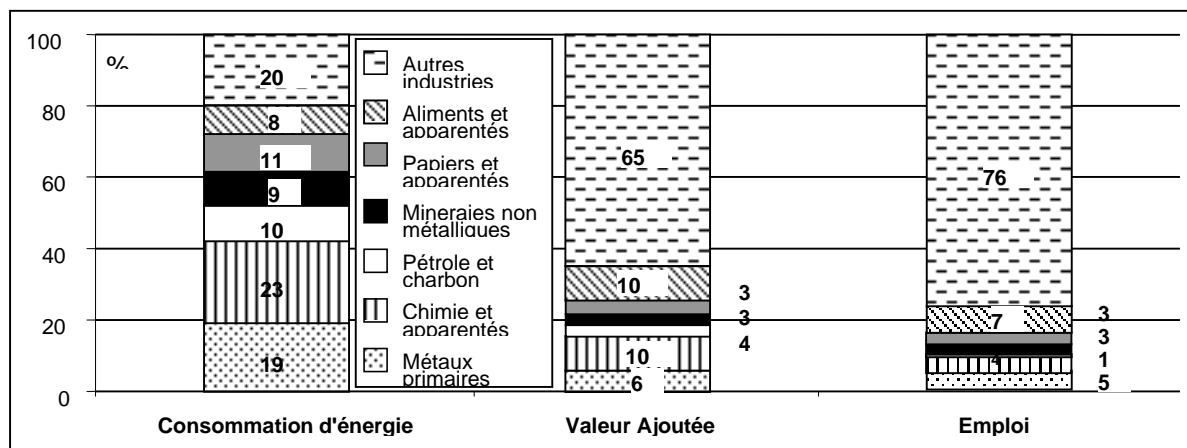
Avec la croissance économique, l'urbanisation, l'évolution des conditions de travail et des modes de vie, le consommateur se distancie de la production de son alimentation. La production agricole, la transformation du produit brut en aliment final, la distribution de cet aliment dans le temps et l'espace est confié à une grande variété d'acteurs économiques, constituant un système suffisamment productif pour assurer la sécurité alimentaire à l'ensemble de la population. L'intensification et l'industrialisation de la production, la croissance des échanges commerciaux expliquent en partie la croissance des consommations d'énergie. Les populations urbaines des pays

développés demandent des produits faciles à conserver, à consommer et attrayants. Ces caractéristiques impliquent de nombreux traitements industriels, la modernisation de l'équipement des ménages (réfrigérateur, congélateur, micro-onde, etc.), le développement de la restauration collective, l'ensemble étant énormément coûteux en énergies fossiles. Certains auteurs estiment que 20 à 30 % de la consommation énergétique totale des pays développés est consacrée à l'alimentation [LEACH, 1977], parmi lesquels 10 % sont destinés à l'agriculture et l'élevage et les 90% restant sont utilisés dans les transports, le conditionnement et la préparation des aliments. La production d'une calorie alimentaire (constituée par des produits végétaux et animaux) nécessiterait 0,6 calories d'énergie fossile dans les pays industrialisés, tandis que la transformation, le transport, le stockage et la préparation de cette calorie alimentaire consomment au moins 6 calories d'énergie fossile supplémentaire [SCHMIDT, 1986]. Nous présenterons quelques cas de pays où la question des consommations d'énergie le long de la chaîne alimentaire a déjà été étudiée, puis nous commenterons les difficultés méthodologiques de ces études et les possibilités d'étendre ces résultats à d'autres régions suivant leurs niveaux de développement.

Les Etats-Unis

De nombreuses études [STOUT, 1980], menées aux Etats-Unis dans les années 70 et 80, évaluent l'ensemble des consommations d'énergie liées à l'alimentation, en aval de la production agricole. Les résultats de ces études sont représentés dans les figures suivantes. D'abord (Figure 11), les différentes industries sont comparées en terme de part de la consommation d'énergie, de la valeur ajoutée et de l'emploi du secteur industriel global (voir Tableau 17 en annexe).

Figure 11 : Part des principales industries dans la consommation d'énergie, la VA et l'emploi industriel

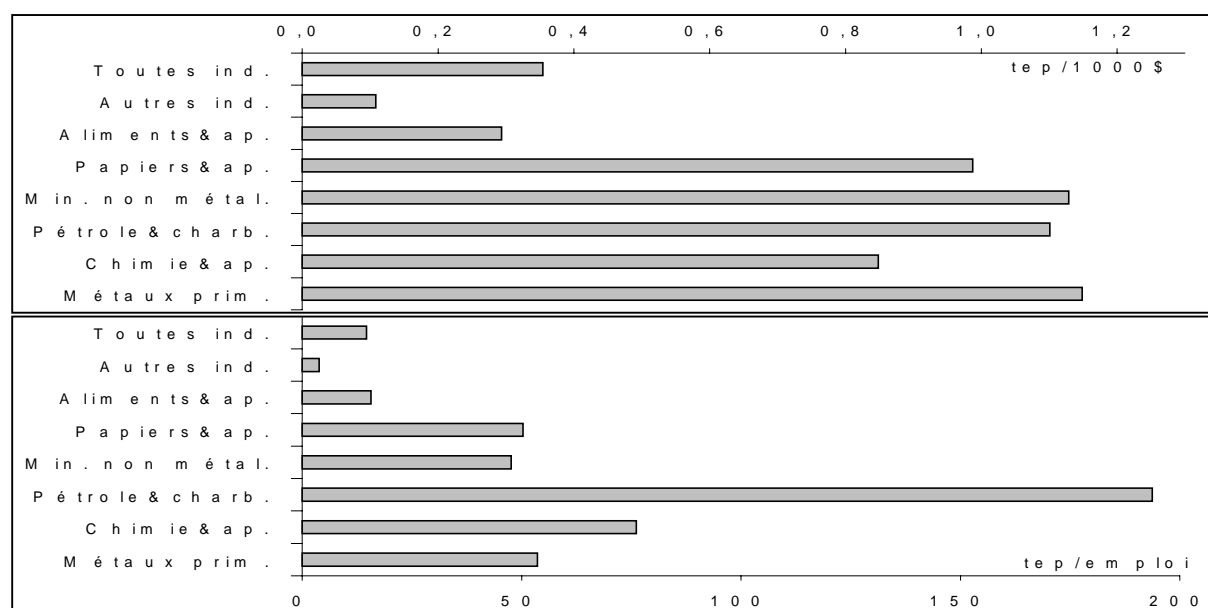


Source : [STOUT, 1980]

On peut caractériser chaque secteur par l'intensité énergétique du travail (nombre de tep consommées par emploi) et l'intensité énergétique de la valeur ajoutée (nombre de tep consommées pour une VA de 1 000 \$) (Figure 12). Il apparaît ici que l'industrie agroalimentaire est relativement faible consommatrice d'énergie par unité de valeur ajoutée. Cette position dépend de la part des industries lourdes, fortement consommatrices d'énergie. Pour notre étude, ce type d'indicateurs

pourrait être calculé localement, quand l'information est disponible, puis être généralisé à d'autres régions de développement similaire, afin d'estimer les consommations d'énergie.

Figure 12 : Intensités énergétiques des industries – Etats-Unis



Source : [STOUT, 1980]

Les autres secteurs de consommation d'énergie (transports, commerce, ménage) participent aussi à satisfaire le besoin alimentaire. Tableau 8, la part de l'alimentation dans la consommation d'énergie de chacun de ces secteurs est évaluée. On peut supposer qu'avec le développement socio-économique et la diversification des activités économiques, la part de l'alimentation dans ces secteurs diminue.

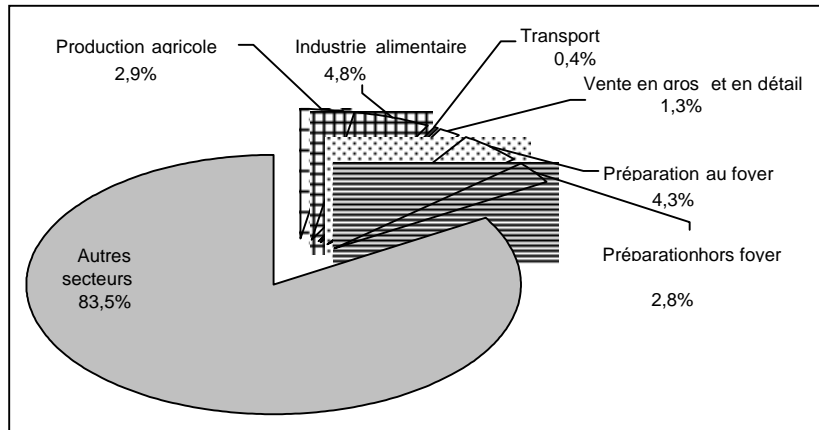
Tableau 8 : Part des activités alimentaires dans les coûts énergétiques sectoriels - Etats-Unis

	% cons. sect.
Industrie	13
Commerce	23
Ménages	18
Transport	18

Source : [STOUT, 1980]

Finalement, la part des différentes étapes de l'alimentation (de la production à la consommation) peut être représentée ainsi (Figure 13) :

Figure 13 : Part du système alimentaire dans la demande énergétique totale – Etats-Unis – 1976

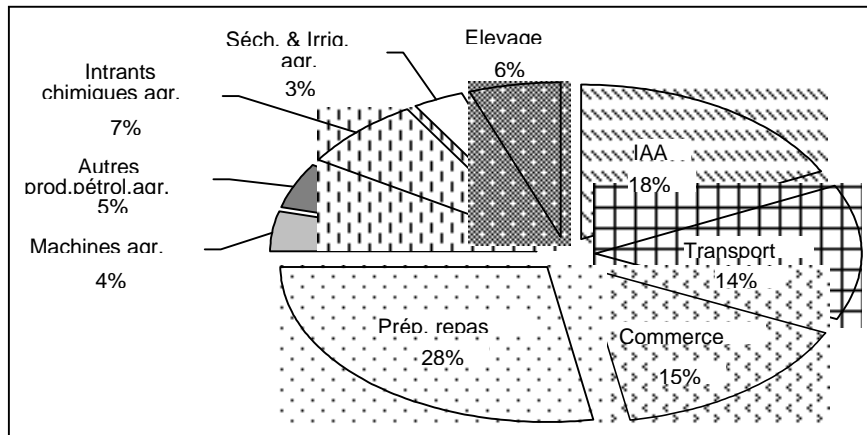


Source : [STOUT, 1986]

On vérifie que dans les modèles de consommation agro-industriels, les activités en aval de la production agricole tiennent une place prépondérante, particulièrement les stades de la transformation industrielle et de la préparation au foyer et hors foyer. Cependant, l'importance des transports semble ici encore sous-estimée.

Une autre étude [cité dans STOUT, 1980], qui évalue les consommations d'énergie pour fournir 3 000 kcal / pers / j aux Etats-Unis, aboutit à une répartition des coûts énergétiques dans le système alimentaire (Figure 14, et Tableau 18 en annexe). L'énergie consommée pour la préparation des repas hors foyer ne figure pas spécifiquement dans ces résultats.

Figure 14 : Consommation d'énergie le long de la chaîne alimentaire (%) – Etats-Unis



Source : [STOUT, 1980]

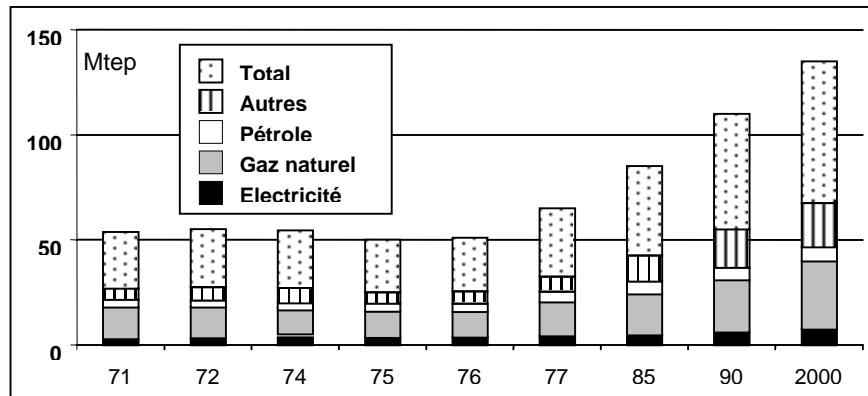
Notons qu'une dizaine d'activités représentent la moitié de la consommation totale d'énergie des IAA aux Etats-Unis, dans les années 80, ces IAA ayant des intensités énergétiques très variables (

Tableau 19 et Tableau 20 en annexe). De même que pour l'agriculture, il serait utile de réévaluer l'intensité énergétique de quelques produits de base des IAA, quand l'information est

disponible, afin de permettre des généralisations, et notamment de mieux comptabiliser le coût énergétique des aliments exportés et importés.

Enfin, l'évolution des sources d'énergie des industries alimentaires des Etats-Unis (Figure 15) a subi les chocs pétroliers. Si les consommations tendent ensuite à augmenter, il est probable que l'intensité énergétique s'améliore, grâce à l'amélioration de l'efficacité des procédés et aux technologies « propres », utilisant des énergies renouvelables (compris dans « autres »).

Figure 15 : Sources d'énergie des IAA – Etats-Unis



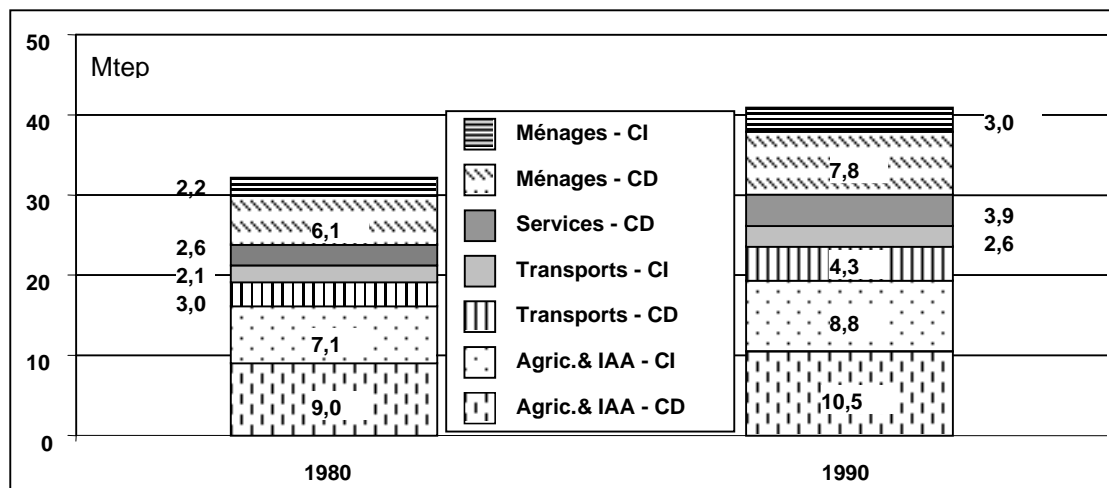
Source : [STOUT, 1986]

Le cas de la France :

Une étude française récente [CNRS / ECODEV, 1998] a entrepris de reconstituer les consommations d'énergie par besoin dans une approche « top-down ». Cette méthode consiste d'abord à décomposer autant que possible la consommation énergétique finale de la France par secteur et sous-secteur de l'économie, puis de reconstruire un tableau des consommations par besoin fondamental (alimentation, logement, habillement, santé, éducation, loisir et culture). Les consommations d'énergie par secteur ou sous-secteur sont décomposées plus finement grâce à des données physiques, sociales et économiques. Disposant d'une information désagrégée beaucoup plus complète pour la France, les consommations indirectes d'énergie peuvent d'avantage être prises en compte. Les parts des consommations directes et indirectes à chaque étape du système alimentaire sont représentées dans la figure suivante (

Figure 16) :

Figure 16 : Consommation d'énergie dans le système alimentaire en France entre 1980 et 1990



L'analyse plus détaillée des postes de consommation d'énergie donne la décomposition suivante (Tableau 9) :

Tableau 9 : Structure et évolution du coût énergétique de l'alimentation – 1980 / 1990 – France

	Part de la conso. totale 1980 (%)	Part de la conso. totale 1990 (%)	Croissance propre 80/90 (%)	Part de la croissance totale 80/90 (%)
Production agricole et alimentaire	50,2	47,2	20	36
Agriculture	12,5	10,5	8	3
IAA	15,6	15,2	24	14
Bâtiments agricoles (1)	3,4	4,6	73	9
Produits indus. pour agric. & IAA	18,7	16,9	15	10
Transports	15,9	16,9	35	20
Transport automobile (achats)	6,5	6,4	24	6
Transport denrées alimentaires	6,9	8,3	55	14
Transport	1,6	1,2	0	0
Transport domicile-travail agric.&IAA	0,9	1,0	33	1
Services	8,1	9,5	50	15
Commerce produits alimentaires	7,5	8,6	46	13
Services marchands aux entreprises	0,6	1,0	100	2
Ménages	25,9	26,4	30	28
Cuisson	8,7	7,3	7	2
Froid	9,7	10,5	39	14
Lave-vaisselle	0,6	1,2	150	3
Produits indus. pour les ménages	6,9	7,3	36	9
total (%)	100	100	27	100
total (Mtep)	32,1	40,9	8,8	8,8

Source : [CNRS / ECODEV, 1998]

La structure de la consommation d'énergie reste à peu près stable entre 1980 et 1990. La faible diminution de la part de la production agricole et alimentaire est compensée par une augmentation des transports, des services et des ménages. Les plus fortes hausses de consommation (en croissance propre) concernent les services (+ 50 %) puis les transports (+ 35 %), la consommation des ménages (+ 30%) et enfin la production agricole et alimentaire (+ 20%). Par contre, les secteurs qui comptent le plus dans la croissance globale sont

- la production (36 %), avec surtout les consommations directes et indirectes des IAA ;
- les ménages (28 %), avec une part importante de consommations liées au froid ;
- les transports (20 %), particulièrement de denrées alimentaires ;
- les services (15 %).

Le cas de l'Afrique :

Une étude de la FAO a tenté d'évaluer les consommations d'énergie de la production agricole et alimentaire africaine, à partir d'une étude de dix pays représentatifs de la diversité des situations africaines. L'étude des PED présente des difficultés supplémentaires :

- le manque de comptabilisation des énergies traditionnelles (biomasses) dans les statistiques énergétiques,
- le manque d'informations sur les secteurs artisanaux et des ménages.

Vu ces limites d'informations, l'étude sous-estime probablement le coût énergétique des activités de transformation alimentaire. Quant à la consommation des ménages pour l'alimentation, elle n'a pu être évaluée.

Le Tableau 10 résume la structure des consommations d'énergie pour l'Afrique :

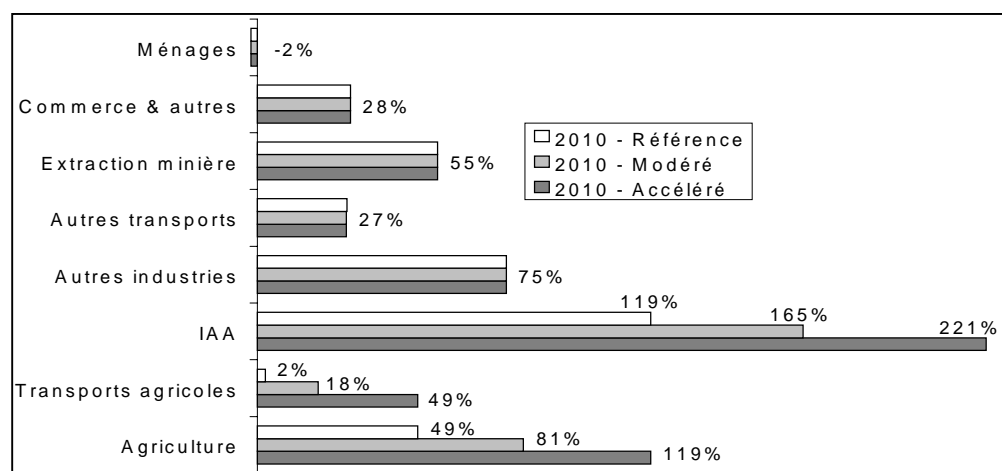
Tableau 10 : Distribution de consommation d'énergie en Afrique - 1990

Secteur	%
Ménages	47
Industrie	21
Agriculture	14
Transport produits agric.	3,2
IAA	6,3
Agriculture	4,5
Extraction minière	3
Transport	12
Commerce et autres	3
Total (Mtep)	300

Source : [FAO, 1995]

Des scénarios prospectifs ont été élaborés pour 2010, dans lesquels la croissance agricole et alimentaire est variable. Les résultats, en terme de croissance des consommations énergétiques par poste sont représentés ci-dessous (Figure 17) :

Figure 17 : Croissance des consommations énergétiques des secteurs – Afrique



Mais cette étude est difficilement exploitable pour notre objectif, qui consiste à évaluer l'ensemble des énergies (non vivantes) consommées pour le besoin d'alimentation de la population d'une région :

- d'une part, cette étude ne tient compte que des énergies commerciales, lesquelles ont une part mineure dans la consommation énergétique de certains secteurs des PED ;
- d'autre part, cette étude comptabilise l'ensemble des énergies consommées par l'agriculture et les industries avales, y compris par les cultures non alimentaires (tabac, caoutchouc...) et les cultures

d'exportation, lesquelles peuvent tenir une place prépondérante dans la consommation totale d'énergie commerciale de cette région.

La variété des consommations en aval de la production agricole et le manque d'informations directes sur leur ampleur posent de nombreuses questions méthodologiques d'évaluation et de classification de ces coûts. En nous aidant des études précédentes, nous ferons quelques propositions pour un modèle de prospective mondiale. Ceci nécessitera notamment :

- de choisir un découpage en régions relativement homogènes du point de vue du développement économique et alimentaire,
- de définir une structure du coût énergétique de l'alimentation qui soit pertinente pour toutes les régions du monde et pour la prospective,
- de faire des propositions méthodologiques et des poser des hypothèses pour combler le manque d'informations.

Questions méthodologiques et propositions pour les coûts énergétiques liés à l'alimentation

• *La régionalisation :*

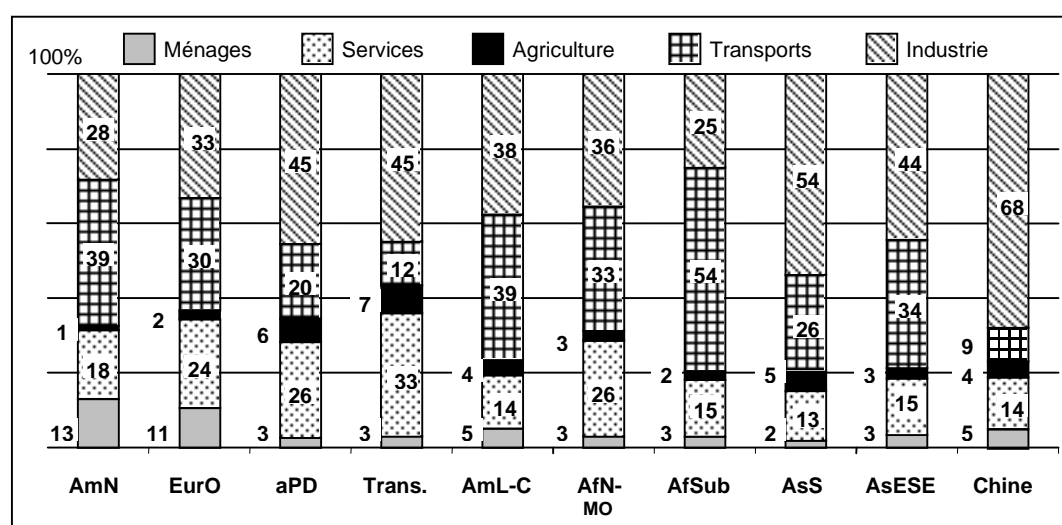
Dans une première approche, nous ne pourrons différencier qu'un nombre très limité de régions du monde, construites sur des critères de développement économique et alimentaire. Ce découpage grossier est imposé par le choix d'une analyse mondiale mais aussi par le manque de précision sur les informations. A partir de statistiques du World Resource Institute et de la Banque Mondiale, nous avons constitué 10 régions mondiales puis reconstruit leur consommation totale d'énergie commerciale (Tableau 11) et la répartition de cette consommation par secteur (Figure 18).

Tableau 11 : Consommation totale d'énergie commerciale (Mtep)- 1995

Amérique du Nord	2 231
Europe de l'Ouest	1 360
Autres pays développés	683
Pays en transition	1 092
Amérique Latine & Caraïbes	514
Afrique N & Moyen Orient	488
Afrique Subsaharienne	178
Asie du Sud	502
Asie de l'Est & du Sud-Est	165
Chine	1 025

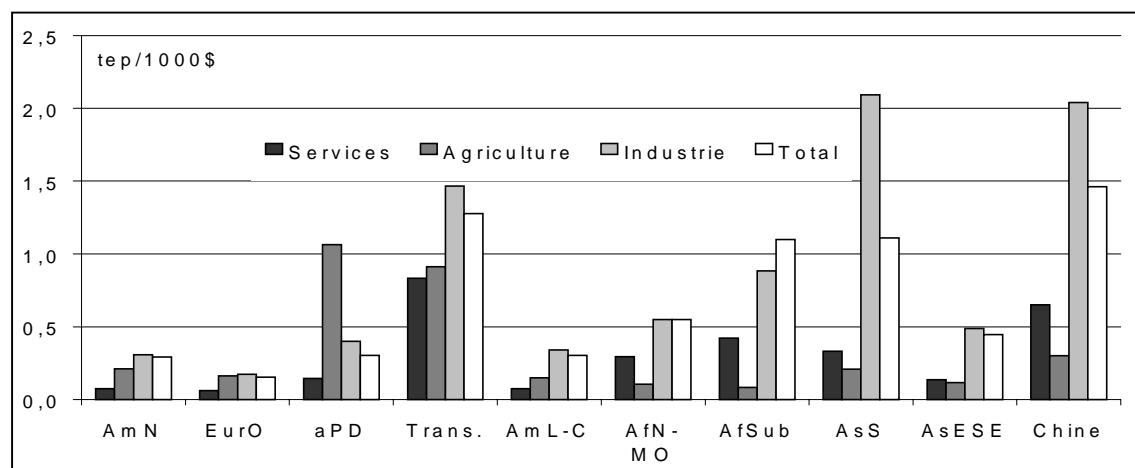
Source : World Resources Institute – Banque Mondiale (1998-99)

Figure 18 : Répartition des consommations d'énergie commerciale par secteur - 1995



Ces statistiques nous permettent de calculer les intensités énergétiques des grands secteurs économiques de ces régions (tep consommées pour 1000\$ US95 de valeur ajoutée créée dans ce secteur, Figure 19). Les plus fortes intensités énergétiques concernent les PED, en raison de procédés de fabrications moins économes en énergie, et de la forte part des secteurs primaires et secondaires dans l'activité économique, tandis que les PD ont fortement augmenté la part des activités tertiaires dans leur PIB (voir aussi Tableau 21 en annexe).

Figure 19 : Intensité énergétique de la valeur ajoutée des secteurs économiques (tep / 1000 \$) – 1995



Soulignons que ces informations ne concernent que les énergies commerciales alors que les consommations d'énergies traditionnelles, non commerciales, peuvent être prépondérantes dans l'approvisionnement de l'agriculture et des ménages des pays en développement. On peut estimer par exemple que les énergies traditionnelles de la biomasse, qui sont largement non commerciales, comptent pour 20 à 50% de la consommation totale réelle des pays en développement.

- *La méthode top-down*

Dans le cas des pays développés, et principalement des pays de l'OCDE, une base de données relativement complète et détaillée permet de reconstruire le coût énergétique de l'alimentation. Les statistiques de l'Agence Internationale de l'Energie (IEA) fournissent par exemple, les consommations énergétiques nationales :

- de l'agriculture,
- du commerce et des services,
- des ménages,
- de l'industrie de l'alimentation et du tabac
- des transports (notamment par voie aérienne, routes, voies ferrées et par navigation interne)

Quant ces données existent, il s'agit d'extraire la part de l'énergie destinée à des activités alimentaires. Si on dispose au niveau national, pour un certain nombre de pays représentatifs, des tableaux d'échanges interindustriels, des statistiques énergétiques plus détaillées, d'information sur la nature et les quantités de marchandises transportées, sur les échanges de produits agricoles et alimentaires brutes et transformés, sur l'équipement des ménages, sur les services de restauration, alors on peut désagréger les consommations d'énergie par secteur dans une méthode « top-down », et moyennant quelques hypothèses simplificatrices sur l'affectation des coûts énergétiques. Les consommations d'énergies liées à l'alimentation peuvent être alors regroupées [CNRS / ECODEV, 1998]. Cette méthode est cependant fastidieuse et limitée à un certain nombre de pays. Les structures de coût et les intensités énergétiques ainsi obtenues pourront être parfois généralisées à des régions ou des pays dont le niveau de développement et la structure économique sont comparables.

- *La complexification des échanges*

L'ampleur des échanges mondiaux de denrées agricoles et alimentaires, d'inputs et de facteurs de production (machines, engrais, semences) nécessaires à l'agriculture et à l'industrie agroalimentaire est croissante. Le contenu énergétique (c'est-à-dire l'énergie dépensée dans le pays d'origine) pour la production de ces marchandises, ainsi que l'énergie dépensée pour leur transport devront être affectées au pays destinataire. Cela suppose de connaître assez précisément les coûts énergétiques de certains types de production dans leur pays ou la région d'origine. Dans le cas des pays en développement, les structures de production et de transformation des cultures d'exportation ont probablement des coûts énergétiques sensiblement différents des cultures destinées à l'alimentation domestique. Cette distinction serait souhaitable dans le modèle.

En dehors des échanges interrégionaux, les échanges intra-régionaux et intra-nationaux se développent énormément dans les pays développés. Les produits agricoles et alimentaires suivent un circuit complexe de transformations qui sont souvent déconcentrées géographiquement afin d'optimiser le coût de transformation. Mais cette dispersion implique des coûts énergétiques de

transport. Ces transports intra-branches peuvent être désignés sous le terme de logistique [HEILIG, 1993].

- *Le cas des pays en développement*

Il existe certaines études de cas concernant les consommations énergétiques des ménages et l'artisanats dans les pays en développement. Il est cependant difficile d'avoir une vue d'ensemble de la situation des PED et une estimation de leur consommation totale d'énergie pour l'alimentation vu la faiblesse des statistiques dans ce domaine. D'autre part, il est discutable de généraliser des cas connus, vu la diversité des situations des PED.

L'utilisation de machines agricoles, de fertilisants ou de produits phytosanitaires étant faible, ces indicateurs ne sont probablement pas représentatifs de l'intensité énergétique des systèmes de production. D'autre part, dans le cas de l'étude sur l'Afrique [FAO, 1995], les informations sur les activités de transformation et de transport agroalimentaires ne concernent souvent que les secteurs industriels et les énergies commerciales. L'introduction du secteur alimentaire artisanal, des cultures vivrières et des énergies traditionnelles non commerciales donnerait sans doute un bilan énergétique très différent. Supposons que les consommations d'énergie du secteur agroalimentaire artisanal et des productions vivrières soient en partie comptabilisées dans la consommation des ménages, le reste de la consommation des ménages étant souvent consacré à la préparation des aliments. L'ONU a estimé la répartition de toutes les énergies (commerciales et traditionnelles) par utilisation pour l'Afrique entière en 1990 et donne le bilan suivant (Tableau 12), très différent de la répartition des énergies commerciales :

Tableau 12 : Structure de la consommation d'énergie de l'Afrique - 1990

Secteur	% cons.tot.
Ménages	47
Industrie	27
Transport	15
Agriculture	4
Extraction minière	3
Commerce et autres	3

Source : [FAO, 1995]

L'affectation d'une partie de la consommation des ménages à l'alimentation peut donc faire varier fortement les résultats du coût énergétique de l'alimentation des PED.

L'évaluation de la part des biomasses traditionnelles, qui sont pour la plupart non commerciales et consacrées à des activités agricoles et alimentaires nous permet également d'estimer leur poids dans le bilan énergétique de l'alimentation (Tableau 13) :

Tableau 13 : Part des bioénergies traditionnelles et modernes dans la consommation totale (%)

	Biomasse traditionnelle	Biomasse moderne
Amérique du Nord	2	1
Europe de l'Ouest	1	1
Pays en transition	2	0
Autres pays développés	0	1
Amérique Latine & Car.	21	7
Afrique du Nord et Moyen Orient	6	0
Afrique Subsaharienne	49	2
Asie Est & Sud-Est & Pacifique	26	1
Asie du Sud	46	3

Source : à partir du WEC et de l'IIASA – 1990

LES MULTIPLES ENJEUX DU PROGRAMME DE RECHERCHE

La conférence de Kyoto a marqué la prise de conscience du risque réel que représente l'émission de gaz à effet de serre lié notamment à la consommation d'énergie fossile et ses conséquences sur le réchauffement climatique. Lors de la prochaine réunion à La Haye, la communauté internationale, acteurs économiques, scientifiques, pouvoirs publics s'interrogeront de nouveau sur les moyens de concilier développement, équité sociale et protection de l'environnement.

Notre programme de recherche part de l'idée que les consommations d'énergie visent à satisfaire les besoins humains et qu'il est plus compréhensible de faire des prospectives sur l'évolution de ces besoins et de leurs modalités de satisfaction que de relier mécaniquement la consommation d'énergie au niveau de richesse des régions. L'alimentation étant un des besoins humains fondamentaux et un des principaux consommateurs d'énergie, directement ou indirectement, il est nécessaire de faire des prospectives de long terme sur son évolution liée à la démographie et au développement alimentaire et sur les moyens de maîtriser son coût énergétique.

Outre sa contribution à l'effet de serre, non seulement par la consommation d'énergies fossiles, mais aussi par l'émission d'autres GES liés à l'élevage, à la riziculture et à l'utilisation de systèmes réfrigérants, l'alimentation touche à de nombreux enjeux globaux. Les retombées d'un tel programme de recherche sont multiples, elles sont d'ordre environnemental, aussi bien qu'économique, politique et social. L'alimentation, comme l'énergie, est un enjeu social et politique urgent, qui touche à la stabilité et à l'indépendance des états, au développement humain et économique. Le système alimentaire est aussi un des principaux utilisateurs et gestionnaires de ressources en sols, en eau et en biodiversité. Réfléchir aux moyens de limiter et de rationaliser les consommations d'énergie pour l'alimentation implique d'influencer l'utilisation des autres ressources : les sols, l'eau, la biodiversité, les matières premières mais aussi les ressources humaines et financières.

Cette réflexion a déjà été menée par les agronomes et énergéticiens, notamment au moment des chocs pétroliers des années 70 et 80, dans les pays développés, mais aussi avec l'aggravation de la déforestation dans les pays en développement. Aujourd'hui, on propose de réduire les consommations d'énergie directes et indirectes de l'agriculture, notamment par la réduction des intrants chimiques et la simplification des travaux agricoles. Mais le potentiel de réduction des consommations énergétiques de l'agriculture ne doit pas être surestimé, car d'une part l'agriculture représente aujourd'hui une part mineure des consommations globales d'énergie, et d'autre part cela impliquera parfois de réduire les objectifs de rendement et de productivité des facteurs ou encore d'entraver le développement économique et social des zones rurales déjà défavorisées. Par contre, l'agriculture peut participer à l'amélioration d'autres bilans environnementaux comme celui du stockage du carbone, de l'eau, des

sols etc. La réflexion à propos des consommations d'énergie dans le reste de la filière alimentaire est aujourd'hui en plein développement, notamment sous la pression des politiques de taxation des pollutions industrielles et de l'intérêt croissant des consommateurs pour des produits « propres » et sains. Particulièrement en Europe du Nord (Hollande, Finlande, Suède, Allemagne), des bilans environnementaux du « cycle de vie » des produits alimentaires permettent de comparer le coût économique, social et environnemental de différents produits alimentaires voire même de filières alimentaires nationales. Ces bilans prennent en compte d'autres facteurs de pollution ou de danger sanitaire comme les emballage alimentaires, les divers traitements et additifs alimentaires, la chaîne du froid et proposent des solutions techniques pour améliorer l'efficacité du système et minimiser ses nocivités. On peut par exemple comparer le coût énergétique d'importation de certains légumes à celui de leur production locale sous serre. De même, différents types de conservation par le froid des produits frais (CFC, azote liquide) et la transformation en produits stabilisés (séchage, conserverie) sont comparés du point de vue énergétique et sanitaire. Toute une ingénierie de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie retrouve ainsi un développement important, incité notamment par la fixation de nombreuses normes environnementales de fabrication et de fonctionnement des équipements et des produits. Ces travaux nous fournissent non seulement des informations techniques sur le fonctionnement actuel des systèmes agroalimentaire mais aussi des propositions d'amélioration de l'efficacité énergétique, de recyclage des déchets, de cogénération, de limitation des pertes, d'utilisation des énergies renouvelables

Outre ces approches d'ingénieur, il faut évaluer les conséquences des évolutions de l'alimentation sur le développement rural et économique global, sur la santé humaine. Ainsi les possibilité de substitution entre les facteurs énergie, eau, terre, ressources biologiques et humaines au sein de l'agriculture et des IAA sont soumises à des contraintes d'ordre économique, environnemental et social. Par exemple, la substitution entre énergies traditionnelles et énergies commerciales a divers effets : les énergies commerciales peuvent accroître la dépendance extérieure, les énergies de la biomasse peuvent constituer un revenu complémentaire pour l'agriculture mais aussi se placer en concurrence par rapport aux terres alimentaires. Dans le cas des IAA, le choix de tel ou tel type de transformation alimentaire sur des critères énergétiques peut avoir des impacts sur la valeur nutritionnelle des aliments et sur les risques sanitaires. En bout de chaîne, les possibilités d'intervention sur les consommations d'énergie des ménages pour l'alimentation dépendent de variables sociales (travail des femmes, taille des ménages, pouvoir d'achat).

Notre modèle prospectif devra donc évaluer et analyser la contribution de la filière alimentaire à ces enjeux globaux - de l'agriculteur, éleveur ou pêcheur, jusqu'au consommateur. Même si une information agrégée et homogène n'est pas encore directement disponible sur ce sujet, une prise de conscience des acteurs de la filière commence à constituer des sources d'information. Dans le domaine des industries agroalimentaire, un projet énergétique régional a été lancé au sein de l'Organisation des

Nations Unis pour le Développement Industriel, donnant lieu a des propositions concrètes de maîtrise de l'énergie. Les scientifiques et techniciens de l'environnement et de l'énergie ont ainsi construit des bases d'informations locales et nationales, des méthodologies d'évaluation et de diagnostic des filières, des procédés de rationalisation des coûts énergétiques et de réduction des pollutions diverses. Notre objectif est d'exploiter ces différentes sources d'information, plus ou moins agrégée, puis d'envisager et d'évaluer les multiples impacts des tendances alimentaires mondiales et des propositions techniques et politiques de maîtrise des consommations d'énergie.

Annexe

Tableau 14 : Prospectives mondiales sur les consommations agricoles d'énergie commerciale (%)

	Engrais		Machines agricoles		Irrigation		Pesticides		Total agriculture (Mtep)	
	72/73	85/86	72/73	85/86	72/73	85/86	72/73	85/86	72/73	85/86
PD.	35,3	44,2	61,5	53,0	1,2	1,1	2,0	1,7	110	150
Amer. N	35,0	48,2	60,7	48,2	1,7	1,4	2,6	2,2	51	70
Eur. O	34,3	39,7	63,3	58,2	0,7	0,6	1,7	1,5	50	67
Pacif. OCDE	25,5	35,9	73,0	62,9	0,9	0,9	0,5	0,4	3	5
Autres PD	51,3	52,4	46,9	46,0	1,5	1,4	0,3	0,2	6	8
PED.	63,6	70,3	27,9	23,5	7,4	4,3	1,0	1,9	22	68
Afr. Subs.	54,0	56,8	42,6	37,4	1,7	1,6	1,7	4,2	2	5
Amer. Lat.	49,0	55,4	47,4	41,3	2,0	1,6	1,7	1,6	7	20
Moyen Or.	51,1	60,4	29,7	28,7	18,3	9,4	0,8	1,4	4	14
Autres Asie	83,5	87,4	7,8	6,6	8,2	4,1	0,4	1,9	9	29
PPC*	56,6	65,4	38,0	31,4	2,5	1,4	2,9	1,7	49	102
Asie PC	76,3	79,2	9,6	12,5	8,5	4,6	5,5	3,7	10	20
Eur.E & URSS	51,6	62,0	45,2	36,2	0,9	0,6	2,3	1,2	39	81
Monde	44,5	56,5	51,1	39,9	2,3	1,9	2,1	1,7	180	319

*PPC : Pays à Planification Centrale

Source : [STOUT, 1980]

Tableau 15 : Prospectives mondiales sur les consommations agricoles d'énergie commerciale (10¹⁵ J)

	Engrais		Machines agricoles		Irrigation		Pesticides		Total agriculture		% du total mondial	
	72/73	85/86	72/73	85/86	72/73	85/86	72/73	85/86	72/73	85/86	72/73	85/86
PD.	1 635	2 800	2 851	3 355	57	67	93,6	107,4	4 637	6 329	61,0	47,0
Amer. N	750	1 429	1 299	1 427	36,6	42,0	55,3	64,5	2 141	2 963	28,1	22,0
Eur. O	724	1 130	1 337	1 656	15,5	18,4	36,8	41,4	2 113	2 846	27,8	21,1
Pacif. OCDE	35	69	100	121	1,3	1,7	0,7	0,7	137	192	1,8	1,4
Autres PD	126	172	115	151	3,6	4,6	0,8	0,8	245	328	3,2	2,4
PED.	586	2 003	257	670	68,6	122,1	9,3	53,4	921	2 849	12,1	21,1
Afr. Subs.	38	111	30	73	1,2	3,1	1,2	8,3	70	195	0,9	1,5
Amer. Lat.	153	468	148	349	6,1	13,7	5,3	13,8	312	845	4,1	6,3
Moyen Or.	86	351	50	167	30,8	54,7	1,4	8,3	168	581	2,2	4,3
Autres Asie	309	1 073	29	81	30,5	50,6	1,4	23,0	370	1 228	4,9	9,1
PPC*	1 160	2 808	778	1 349	50,5	61,3	59,8	73,7	2 048	4 292	26,9	31,9
Asie à PC	317	683	40	108	35,3	39,5	23,0	32,2	415	863	5,5	6,4
Eur.E & URSS	843	2 125	738	1 241	15,2	21,8	36,8	41,5	1 633	3 429	21,5	25,5
Monde	3 381	7 611	3 886	5 374	176,1	250,1	162,7	234,5	7 606	13 470	100,0	100,0

*PPC : Pays à Planification Centrale

Source : [STOUT, 1980]

Tableau 16 : Coûts énergétiques indirects et directs liés aux machines et de l'irrigation

	Machines				Irrigation			
	72/73	72/73	85/86	85/86	72/73	72/73	85/86	85/86
	CI	CD	CI	CD	CI	CD	CI	CD
PD.	34	66	32	68	17	83	16	84
Amer. N	33	67	33	67	16	84	15	85
Eur. O	34	66	31	69	18	82	16	84
Pacif. OCDE	35	65	35	65	15	85	18	82
Autres PD	30	70	32	68	17	83	17	83
PED.	39	61	38	62	17	83	17	83
Afr. Subs.	37	63	37	63	17	83	19	81
Amer. Lat.	38	62	37	63	26	74	19	81
Moyen Or.	42	58	41	59	19	81	19	81
Autres Asie	38	62	38	62	14	86	15	85
PPC*	32	68	33	67	14	86	16	84
Asie à PC	38	63	38	62	12	88	14	86
Eur.E & URSS	32	68	32	68	20	80	19	81
Monde	34	66	33	67	16	84	17	83

*PC : Pays à Planification Centrale

Source : [STOUT, 1980]

Tableau 17 : Quelques caractéristiques des industries – Etats-Unis

Industries	Consommation d'énergie (Mtep)	Valeur Ajoutée (10 ⁹ \$)	Emplois (1000)
Métaux primaires	56,9	49,6	1 062
Chimie et associée	67,9	80,0	892
Pétrole et charbon	29,5	26,7	152
Roches, argiles et verre	28,1	24,9	589
Papier et associés	32,0	32,4	635
Aliments et associés	23,7	80,8	1 511
Autres industries	58,8	543,3	15 423
Toutes industries	296,9	837,6	20 264

Source : [SINGH, 1986]

Tableau 18 : Consommations d'énergie pour l'alimentation aux Etats-Unis (1000 tep)

Construction de machines agricoles	0,7
Séchage	2,1
Irrigation	3,3
Travaux agricoles	6,1
Autres produits pétroliers	8,2
Produits chimiques	12,4
Elevage	6,9
Fabrication d'aliments pour animaux	2,4
Total production	42,1
Industries alimentaires	30,2
Transports	23,8
Commerce de gros et détail	25,8
Préparation des aliments	46,6
Total après la production	126,4
Total	168,5

Source : [STOUT, 1980]

Tableau 19 : Principales IAA consommatrices d'énergie – Etats-Unis - 1980

	Mtep	%
Farine de maïs	2,7	8
Viande emballée	2,1	6
Sucre de betterave	1,8	6
Brasserie	1,7	5
Huile de soja	1,5	5
Conserve Fr. & lég.	1,4	4
Pains & biscuits	1,4	4
Lait liquide	1,3	4
Plats préparés	1,1	3
Raff. sucre de canne	0,8	3
autres IAA	17	52
IAA & associés	33	100

Source : [STOUT, 1986]

Tableau 20 : Classement des IAA par intensité énergétique (tep / tonne de produit) – Etats-Unis

Spiritueux distillés	1,68
Plats surgelés	1,13
Fruits déshydratés	0,58
Sucre de canne brut	0,50
Vins et spiritueux	0,33
Café torréfié	0,28
Fruits de mer en conserve	0,28
Huile de soja	0,22
Fromages	0,22

Tableau 21 : Intensité énergétique de la VA de quelques secteurs (tep / 1000 US \$) – 1995

	Services	Agriculture	Industrie	Total
Amérique du Nord	0,08	0,21	0,31	0,29
Europe Ouest	0,06	0,16	0,17	0,15
Autres pays développés	0,14	1,06	0,40	0,30
Pays en transition	0,83	0,91	1,47	1,28
Amérique Latine & Caraïbes	0,07	0,15	0,34	0,30
Afrique Nord & Moyen Orient	0,29	0,11	0,55	0,55
Afrique Subsaharienne	0,42	0,08	0,88	1,10
Asie du Sud	0,33	0,21	2,09	1,11
Asie de l'Est & du Sud-Est	0,14	0,12	0,49	0,45
Chine	0,65	0,30	2,04	1,46

Source : World Resources Institute – Banque Mondiale (1998-99)

Liste des encadres, figures et tableaux :

Encadré 1 : Le modèle de l'alimentation mondiale de la FAO (WFM)	5
Encadré 2 : Les hypothèses des modèles de la FAO (WFM) et de l'IFPRI (IMPACT)	7
Encadré 3 : Evolutions régionales de la production, de la demande, et disponibilités alimentaires	10
Encadré 4 : Evolutions par groupe de produit	11
Encadré 5 : Evolution des sols et des techniques agricoles dans les PED selon la FAO.....	13
Encadré 6 : Fiche méthodologique du modèle IMPACT (IFPRI)	14
Encadré 7 : Hypothèses et résultats des quatre scénarios de l'IFPRI pour 2020.....	16
Encadré 8 : Les grands modèles agronutritionnels mondiaux	21
Figure 1 : Disponibilités alimentaires mondiales – Evolutions 1970/1990, prospectives 2010 - FAO.....	8
Figure 2 : Disponibilités alimentaires dans les PED – Evolutions 1970/1990, prospectives 2010 - FAO.....	8
Figure 3: Disponibilités alimentaires dans les PD– Evolutions 1970/1990, prospectives 2010 - FAO.....	8
Figure 4 : Valeur énergétique de la ration alimentaire – Evolutions 1970/1990, prospectives 2010 - FAO	9
Figure 5 : Utilisation des céréales et oléoprotéagineux pour l'alimentation animale dans les PED - FAO.....	9
Figure 6 : Evolution probable du solde commercial net de quelques produits pour les PED - FAO	12
Figure 7 : Evolution des postes de consommations d'énergie pour la production de maïs aux Etats-Unis	26
Figure 8 : Evolution des postes de consommation d'énergie du blé intensif en Bassin Parisien (MJ / ha).....	28
Figure 9 : Evolution des consommations énergétiques agricoles par région du monde.....	29
Figure 10 : Evolution de la structure des coûts énergétiques en PD et PED.....	30
Figure 11 : Part des principales industries dans la consommation d'énergie, la VA et l'emploi industriel	33
Figure 12 : Intensités énergétiques des industries – Etats-Unis.....	34
Figure 13 : Part du système alimentaire dans la demande énergétique totale – Etats-Unis – 1976.....	35
Figure 14 : Consommation d'énergie le long de la chaîne alimentaire (%)– Etats-Unis	35
Figure 15 : Sources d'énergie des IAA – Etats-Unis.....	36
Figure 16 : Consommation d'énergie dans le système alimentaire en France entre 1980 et 1990	36
Figure 17 : Croissance des consommations énergétiques des secteurs – Afrique	38
Figure 18 : Répartition des consommations d'énergie commerciale par secteur - 1995	40
Figure 19 : Intensité énergétique de la valeur ajoutée des secteurs économiques (tep / 1000 \$) – 1995	40
Tableau 1 : Potentiel alimentaire régional par rapport à la demande	17
Tableau 2 : Variation de certains inputs de la production agricole	25
Tableau 3 : Evolution de l'efficacité énergétique de la production de maïs aux Etats-Unis	26
Tableau 4 : Ratios énergétiques de certains systèmes de production aux Etats-Unis	27
Tableau 5 : Ratios énergétiques et rendements de quelques systèmes de production.....	27
Tableau 6 : Evolution des coûts énergétiques de la production intensive de blé (en %) – Bassin Parisien.....	28
Tableau 7 : Efficacité de conversion de l'alimentation animale	31
Tableau 8 : Part des activités alimentaires dans les coûts énergétiques sectoriels - Etats-Unis.....	34
Tableau 9 : Structure et évolution du coût énergétique de l'alimentation – 1980 / 1990 – France	37
Tableau 10 : Distribution de consommation d'énergie en Afrique - 1990	38
Tableau 11 : Consommation totale d'énergie commerciale (Mtep)- 1995	39
Tableau 12 : Structure de la consommation d'énergie de l'Afrique - 1990	42
Tableau 13 : Part des bioénergies traditionnelles et modernes dans la consommation totale (%).....	43
Tableau 14 : Prospectives mondiales sur les consommations agricoles d'énergie commerciale (%).....	47
Tableau 15 : Prospectives mondiales sur les consommations agricoles d'énergie commerciale (10 ⁶ 15 J).....	47
Tableau 16 : Coûts énergétiques indirects et directs liés aux machines et de l'irrigation	48
Tableau 17 : Quelques caractéristiques des industries – Etats-Unis.....	48
Tableau 18 : Consommations d'énergie pour l'alimentation aux Etats-Unis (1000 tep).....	48
Tableau 19 : Principales IAA consommatrices d'énergie – Etats-Unis - 1980.....	49
Tableau 20 : Classement des IAA par intensité énergétique (tep / tonne de produit) – Etats-Unis	49
Tableau 21 : Intensité énergétique de la VA de quelques secteurs (tep / 1000 US \$) – 1995.....	49

Bibliographie thématique

➤ Les enjeux agricoles et alimentaires mondiaux

- ALTIERI M., ANN THRUPP L. et P. ROSSET, (1998), Le potentiel de l'agro-écologie dans la lutte contre la faim dans le monde en développement, in 2020 Vision Brief, n°61.

<http://www.cgiar.org/ifpri/french/2020/briefs/br55fr.htm>

AZOULAY G., (1998), Enjeux de la sécurité alimentaire de la sécurité alimentaire mondiale, in Cahiers Agricultures, vol 7, n°6, pp.433-439.

BONNY S., (1997), Les nouvelles technologies sont-elles une menace pour l'environnement ou le moyen de nourrir l'humanité au 21^{ème} siècle ?, in *Ingénieries Eau, Agriculture, Territoires*, Numéro spécial : Perspectives pour l'environnement, pp.51-70.

<http://www.inra.fr/Internet/Produits/WEBTEXT0/PUB/index.html>

BRICAS N. et A.L. RAOULT-WACK, (1997), Pour un développement agro-alimentaire maîtrisable dans les zones tropicales, in Cahiers Agricultures, vol. 6, pp. 577-589.

CONWAY G. et M. GRIFFON, (1994), Une agriculture durable pour la sécurité alimentaire mondiale, CIRAD, 36p.

MONOT, (1999), Comment prévenir une concurrence d'usage des sols entre les cultures énergétiques et alimentaires ?, Club Energie Prospective et Débat, Commissariat Général au Plan.

➤ Les perspectives agricoles et alimentaires

BAANANTE C.A. et B.L. BUMB, (1996), Policies to promote environmentally sustainable fertilizer use and supply to 2020, in 2020 Vision Brief, n°40.

<http://www.cgiar.org/ifpri/2020/briefs/number40.htm>

BAANANTE C.A. et B.L. BUMB, (1996), World trends in fertilizer use and projections to 2020, in 2020 Vision Brief, n°38.

<http://www.cgiar.org/ifpri/2020/briefs/number38.htm>

BROWN L.R. et H. KANE, (1994), Full house : reassessing earth's population carrying capacity, Worldwatch Environmental Alert Series.

<http://www.worldwatch.org/pubs/ea/fh.html>

CIRAD, (1997), Dossier : Analyse prospective de la situation agricole et alimentaire mondiale, Ministère de l'Agriculture.

DELGADO C., ROSEGRANT M., STEINFELD H., EHUI S. et C. COURBOIS C., (1999), Le bétail jusqu'en l'an 2020 : la prochaine révolution alimentaire, in 2020 Vision Brief, n°61.

<http://www.cgiar.org/ifpri/french/2020/briefs/br61fr.htm>

FAO, (1995), Agriculture mondiale : Horizon 2010, dir. ALEXANDRATOS N., 442p.

<http://www.fao.org/docrep/v4200e/v4200e00.htm>

FAO, (1996), Besoins alimentaires et croissance démographique, in Documentation d'Information Technique du Sommet Mondial de l'Alimentation n°4, Vol.1, 15p.

<http://www.fao.org/wfs/final/f/volume1/t4-f.htm>

IFPRI, (1996), Urbanization and agriculture to the year 2020, in 2020 Vision News & Views, avril.

http://www.cgiar.org/ifpri/2020/newslet/nv_0496/nv_0496a.htm

- HAZELL P.B.R., (1995), Managing agricultural intensification, in 2020 Vision Brief, n°11.

<http://www.cgiar.org/ifpri/2020/briefs/number11.htm>

ORAM P., (1995), The potential of technology to meet world food needs in 2020, in *2020 Vision Brief*, n°13.

<http://www.cgiar.org/ifpri/2020/briefs/number13.htm>

PENNING DE VRIES F.W.T., VAN KEULEN H., RABBINGE R. et J.C. LUYTEN, (1995), Biophysical limits to global food production, in *2020 Vision Brief*, n°18.

<http://www.cgiar.org/ifpri/2020/briefs/number18.htm>

PINSTRUP-ANDERSEN P., PANDYA-LORCH R. et M. ROSEGRANT, (1997), The world food situation : recent developments, emerging issues, and long-term prospects, in *2020 Vision Food Policy Report*, IFPRI, 36p.

<http://www.cgiar.org/ifpri/pubs/catalog.htm>

➤ Les modèles alimentaires

ALLAYA M, MALASSIS L. et PADILLA M., (1996), Que mangeons-nous ?, CIHEAM-IAM, 102p.

BRICAS N. et B. BRIDIER, (1993), La valorisation des produits vivriers : avec quelles entreprises agroalimentaires ?, pp.295-305, in MUCHNIK J., *Alimentation, techniques et innovations dans les régions tropicales*, Paris : L'Harmattan.

BRICAS N., (1993), Les caractéristiques et l'évolution de la consommation alimentaire dans les villes africaines : conséquences pour la valorisation des produits vivriers, pp.127-160, in MUCHNIK J., *Alimentation, techniques et innovations dans les régions tropicales*, Paris : L'Harmattan.

MALASSIS L., (1973), Economie de la consommation et de la production agroalimentaire, in *L'économie agroalimentaire*, tome I, Paris, Cujas, 437p.

MALASSIS L. et M. PADILLA, (1986), L'économie mondiale, in *L'économie agroalimentaire*, tome III, Paris, Cujas, 449p.

MALASSIS L., (1997), Les trois âges de l'alimentaire, in *L'économie agroalimentaire*, tome II, vol.1&2, Paris, Cujas.

➤ Les consommations d'énergie pour l'alimentation

BONNY S., (1993), Is agriculture using more and more energy ? A French case study, in *Agricultural Systems*, Vol.43, n°1, pp.51-66.

<http://www.inra.fr/Internet/Produits/WEBTEXT0/PUB/index.html>

BONNY S., (1995), Quelques pistes de recherche pour une meilleure efficacité énergétique en agriculture, in *Stratégie R&D pour une meilleure efficacité énergétique dans le secteur agricole*, Commission Européenne DGXII.

BONNY S., GAC A., MERIAUX S. et J.F. MOLLE, (1990), Energie et productivité : l'agriculture, consommatrice et productrice d'énergie, pp.61-74, in Académie de l'Agriculture de France, *Deux siècles de progrès pour l'agriculture et l'alimentation 1789-1989*, Ed. Lavoisier.

CNRS/ECODEV, (1998), Les déterminants de la demande énergétique et développement, Rapport d'étude du Club « Energie, prospective et débats » au Commissariat Général au Plan.

FAO, (1995), Future energy requirements for Africa's agriculture.

<http://www.fao.org/docrep/v9766e/v9766e00.htm>

FISCHER J., (1999), Energy inputs in Swiss agriculture, Working Paper, FAT, Tänikon.

GIAMPIETRO M. et D. PIMENTEL, (1994), The tightening conflict: population, energy use, and the ecology of agriculture, in NPG Forum Series.

http://www.npg.org/forums/tightening_conflict.htm

HEILIG G.K., (1993), Lifestyles and energy use in human food chains, in *IIASA Working Paper*, n°PW-93-14.

<http://www.iiasa.ac.at/cgi-bin/pubsrch?WP93014>

HILL S.B. et J.A. RAMSAY, (1976), Agriculture and energy : limitations of the energy approach in defining priorities in agriculture, in *Proceedings of a conference at Washington University Missouri*, Ecological Agriculture Projects Publication.

<http://www.eap.mcgill.ca/Publications/EAP18.htm>

LEACH G., (1977), Energy and food production, IPC, Guildford, p.30.

PIMENTEL D. et C.W. HALL, Eds., (1984), Food and energy Ressources, Orlando : Academic Press.

PIMENTEL D. et M. PIMENTEL, (1995), Land, energy and water : the constraints governing ideal U.S. population size, in *NPG Forum Series*.

http://www.npg.org/forums/land_energy&water.htm

RISOUD B., (1999), Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles, in *Economie Rurale*, n°252, pp.16-27.

SINGH R.P., (1986), Energy in food processing, in *Energy in World Agriculture*, vol.1, Elsevier, 374p.

- STOUT B.A., (1980), Energie et agriculture, Rome, FAO-Agriculture.